Il Secolo XIX

nella vita e nella cultura dei popoli

LA FISICA E L'ELETTROTECNICA

Francesco Grassi

CASA EDITRICE
DOTTOR FRANCESCO VALLARDI
MILANO

Il Secolo XIX
nella vita e nella cultura dei popoli

LA FISICA E L'ELETTROTECNICA

DI

Francesco Grassi
Prof. di Elettrotecn. alla Soc. d'Incoragg. d'Arti e Mest.
Condir. dell'Ist. Bognetti-Boselli e Lic. Lib. A. Manzoni in Milano

Con 548 figure nel testo e 2 tavole a colori

CASA EDITRICE
DOTTOR FRANCESCO VALLARDI
MILANO
Napoli — Firenze — Roma — Torino — Palermo
Bologna — Genova — Pisa — Padova — Catania — Cagliari — Sassari — Bari
Trieste — Buenos Aires — Montevideo — Alessandria d' Egitto
[1906]

INDICE

INTRODUZIONE.

L' ACUSTICA E GLI STRUMENTI MUSICALI.

LA TERMOLOGIA.

L' OTTICA.

L' ELETTROLOGIA E L' ELETTROTECNICA.

ERRATA - CORRIGE

	Errore	*Correzione.*
Tavola a col. illustr. dell'Aur. Bor. lin. 1	Helsingfars	Helsingfors
" " " " 2	*L'Aurora*	*L'Aurore*
Pag. 14 linea 1	Penso	« Penso
" " " 3	frutto	frutto »
" 38 legg. della figura	Turbina De Lava	Turbina De Laval
" 41 leggenda espl. disegno eolipila	superficie	superiore,
" 42 titolo della figura	Mariannini	Marianini
" 45 " " "	di due specchi	dei due specchi
" 46 titolo della pagina	lamiere	lamine
" 53 linea 38	del « serpente	, parlano del « serpente
" 60 legg. della seconda figura	Tav. 3 *e* 1724	Tav. 13.ª *e* 1726
" 71 " prima figura	Secolo XVIII	secolo XVII
" 63 linea 7 (dal basso)	1704-05	1704-05-06
" 64 " 5 "	— 35° *e* di 1,5	+ 35° *e* — 1,°5
" 64 legg. espl. della figura	Arcito	Quito
" 82 legg. espl. della prima figura	Duiffoprugear	Duiffopruggar
" 100 legg. della seconda figura	di due moti	Composizione di due moti
" 106 titolo della pagina	Il Voltillari	Il Villari
" 122 linea 18	deduceva per	deduceva poi
" 126 " 4 (dal basso)	accordata con	accordata per
" 131 titolo della figura	Port Bowen-America	Port Bowen — America
" 139 linea 3	344,16	334,16
" " " 15 (dal basso)	ammoniaco	ammoniaco, l'anidride solforosa,
" " legg. espl. linea 2	punto ad un'altra	ad un'altra
" 143 linea 2	Hamboldt	Humboldt
" 164 in testa della prima colonna	spazio vuoto	0
" " nota (1) linea 3	intimo	infimo
" 181 nota (11) linea ultima	è detto quanto	quanto è detto
" 208 titolo della figura inferiore	Il *ponte*	Il tipo degli apparecchi del *ponte*
" 209 leggenda della figura	*the Amer. of Acad. Arts*	*of the Amer. Acad. of Arts*
" 225 nota (9)	CXLVII	CLVII
" 241 linea 6	Il padre Secchi	Il Lockyer
" 273 Nota, linea 1	*ed Fourier* «	*de Fourier,*
" 277 " (2)	Tous	« Tous
" 306 linea 34	un gase	è un gas, e,
" " " 36	in avanti che	in avanti,
" 310 " 15	Alla	Grazie alla
" " " 30	Nè avremo	Ne avremo
" " " 32	già alla fine del secolo XIX che	che già alla fine del secolo XIX
" 311 " 15	1870	1780
" 312 legg. espl. linea terzultima	Danimarca e da lui	Danimarca e da questi
" 331 linea 27	la	al
" 336 " 8	*Canton ;*	*Canton* — ;
" 340 " 21 della nota	*nitor* — . . . *principis ;*	nitor, . . . *principis* — ;
" 377 legg. espl. linea terzultima	dist. e foc.	dist. foc.
" 384 linea II	Duboscq	Duboscq —
" " linea terzultima	considerare	riguardare
" 397 linea 19	121 a. C.	121 d. C.
" 398 linea 14 della nota (1)	il nord :	il nord » :
" 401 titolo della figura	essa	esso
" 440 linea ultima del testo	1846	1896
" 465 linea 29	ad uso	ad esso
" 510 " ultima della nota	elettriche	elettriche »
" 522 " penultima della nota	centri	ventri
" 528 " 5	ma ehe	mentre
" 535 linea 5 della nota	stato naturale	stato di metallo puro
" 539 " 3 " "	raggi —	raggi
" 541 " 2 " "	oscuri	oscuri »
" 546 " 14 " "	magnetizzato	magnetizzato,
" 567 quartultima	in particolare	in particolari

Si avverte che in una parte della tiratura venne inavvertitamente capovolta la fig. 1 della p. 425.

LA FISICA

E L'ELETTROTECNICA

Posta alla fine del secolo XVIII.

(da una stampa dell'epoca).

INTRODUZIONE.

I.

Uno sguardo generale.

V'è un libro che fu offerto alle discussioni dell' uomo e sempre gli sta spiegato dinanzi.

È il libro della natura.

Trovare la chiave per decifrarlo; ecco il grande problema, alla cui risoluzione mira quella di tutti gli altri che la filosofia naturale si propone, alla cui risoluzione sudarono pensatori i più eccelsi.

Sublime è il libro; le pagine di esso narrano le glorie del Creatore: sublime è il libro, ma inganna colui che nel consultarlo si arresta alla superficie. Quel che vi appare più ovvio, bene spesso lo è meno: fu più facile all'uomo il pesare la luna che conoscere se l'avviluppi un'atmosfera; e, mentre splende alla mente di lui tanta luce in questioni le più ardue, il perpetuarsi dell'umile giunco gli è ancora un mistero.

Sublime è il libro, ma inganna colui che nel consultarlo si arresta alla prima apparenza. I fenomeni che più colpiscono non sono sempre quelli che più rivelano: intorno alla luce la bolla di acqua saponata ha insegnato più — e più profondamente — che lo spettacolo grandioso del tramonto più splendido; l'ombra modesta d'un piccolo disco (1) più che quella maestosa, smisurata, che scorre su la Terra durante una ecclisse totale del sole: e — per rispetto alle cognizioni su l'elettricità — lo studio dei fatti offerti da due pezzetti di metalli bagnati fu incomparabilmente più fecondo di quello dei fenomeni ben più appariscenti onde danno spettacolo tanto grandioso le nubi temporalesche.

Sublime è il libro, ma inganna colui che nel consultarlo si arresta alla superficie. Là dove può a tutta prima sembrare che le pagine spirino quiete e pace, stanno scritti invece i parossismi di una attività vertiginosa, cui è ignota qualunque sosta per un solo istante; dove l'uomo rimane colpito —

(1) Poinsot, trattando col calcolo un problema di ottica in base alla teorica delle ondulazioni, giunse ad un risultato che parve dapprima una obbiezione gravissima alla teorica stessa: l'ombra data da un piccolo disco opaco esposto alla luce emanante da un punto sotto forma di un fascio divergente deve avere al centro un punto brillante. Arago con l'esperienza provò che ciò era realmente.

sgomento perfino — dalla brutalità di energie che — al breve occhio di lui — tutto sconvolgono, egli non legge all'incontro se non accidenti della minore importanza. L' uomo abbagliato dai lampi incessanti nel furore della bufera spaventosa; l'uomo che sente tutta commuoversi la terra mentre dal vulcano erompono violenti e ceneri e lapilli e bombe, mentre torrenti di lava si riversano a coprire vecchie terre e prepararne di nuove, mentre si rizza interminabile al cielo la colonna di fuoco onde fa sinistra pompa il cratere; l'uomo, nella profonda impressione di quegli sconvolgimenti della natura, é facilmente portato a pensare che quelle siano grandi manifestazioni delle maggiori forze di essa. Ed invece! Che è mai tutto codesto di fronte alla somma di energie che sono in giuoco nella vita ordinaria dell'universo, nella vita stessa del nostro minuscolo mondo quale è in ogni istante, pur nella patetica tranquillità della notte serena, nella calma delle acque, nel tacere dei venti, nell'inerzia del vulcano? Anche nella notte queta, quando tutto tace e la vita si direbbe spenta nella natura, per tutto l'universo incessante è il palpito di vita che diffondono gl'immensi soli fuggenti per lo spazio sconfinato. Che è mai l'energia che si manifesta nel terremoto più spaventoso di fronte a quella che s'irraggia in un solo istante dalla minore delle placide, innumerabili stelle che popolano i cieli?

Si è al mistero di codesta grande vita dell'universo che dai tempi più remoti si volge il pensiero.

È riuscito il secolo testè tramontato a penetrarlo? No. Ma del velo che nasconde la spiegazione del mistero qualche lembo ha pur sollevato: se non gli fu concesso penetrare fino alle cause, molto ha potuto conoscere del meccanismo col quale si compie quella vita tanto meravigliosa, nella quale la più grande semplicità si accoppia ad una complicazione che fantasia umana non arriva ad immaginare, armonia la più perfetta si sposa — nelle maniere della sua manifestazione, — a varietà insuperabile, a contrasti in apparenza stridenti.

Siluro lanciato.
(Riproduzione di fotografia di Goold di Elswik, per cortese concessione della casa Armstrong di Newcastle upon Tyne).

Gloriosa per codesto lato, è la storia della scienza della natura nel secolo decimonono. Essa, di cui ogni pagina racchiude il frutto di meditazioni profonde, di studi sagaci, di ansie, di sconforti, di successi essa, di cui ogni pagina è un poema, mostra pure ad ogni piè sospinto

quanto sia vero quel pensiero che Hirn prendeva ad epigrafe di uno dei suoi classici lavori: « *Quel che è chimerico non è, per ciò stesso, vero e nuovo: ma quello che è vero e nuovo corre ben sovente il rischio di passare per chimerico* ».

Si porti per un momento il pensiero alle condizioni della fisica alla fine del secolo XVIII, quando nessun legame si conosceva tra i vari ordini di fenomeni, e si parlava di calorico, di fluido lumico, di fluido elettrico, di fluido magnetico: lo si porti alle condizioni presenti che ci permettono di dare all'ottica il nome di acustica dell'occhio, di parlare dell'ottica delle vibrazioni elettriche; di abbracciare, insomma in un'unica concezione fatti appartenenti ad ordini in apparenza i più disparati, di considerare come unico il meccanismo della loro produzione.

Si pensi per un momento al progresso che nelle applicazioni si è avuto in cento anni — un periodo lungo per la breve vita dell'uomo, ma esso stesso un nulla nella serie dei tempi! — Si pensi per un momento all'una cosa ed all'altra, e sarà facile convincersi che, se fosse stato possibile predire ad un uomo del secolo XVIII quel che, nel campo delle scienze fisiche, fu fatto durante il successivo, la esposizione sarebbe stata accolta come parto di mente inferma.

Palla da fucile alla velocità di 2430 piedi per secondo.
(Riproduzione di fotogr. di Goold di Elswik per gent. concessione della Casa Armstrong di Newcastle upon Tyne).

Come non pensarlo, quando la mente contempla le meraviglie dei moti invisibili di invisibili particelle, divinati, assoggettati al rigore dell'analisi matematica, disciplinati così da essere — a talento dell'uomo — ministri di progresso intellettuale e sociale?

E se dal campo della pura speculazione si passa a quello delle applicazioni, quale contrasto fra quel che importava di lavoro, di tempo, di spesa, di pericoli, lo spedire un dispaccio da Milano a Roma e quel che ci occorre per avere una notizia da Shangai, da S. Francisco, da Adelaide!

Quale contrasto tra le vecchie, lente corriere e i nostri treni volanti per le steppe dell'Asia e su per le Ande, fra gl'infidi velieri d'un tempo ed i nostri grandi transatlantici, fra i clavicembali ai quali Beethoven componeva le sue sinfonie ed i pianoforti coi quali ieri eseguendole ci deliziava Rubinstein; fra il tempo occorrente alla mano dell'uomo per ritrarre un paesaggio, una scena della vita, e quello necessario per imprimerlo mediante le nostre perfette macchine fotografiche, rapide tanto da cogliere il siluro volante e la palla da fucile pur quando la velocità la sottrae allo sguardo, da sorprendere l'elitra che batte; l'elitra fugace troppo perchè del battito all'uomo sia dato

scernere perfino l'insieme! E quale contrasto fra l'evidenza che alle cose riprodotte dà la mano più abile, e quella onde le arricchisce la natura costretta a farsi essa stessa pittrice!

Quale contrasto fra le vie delle nostre città, quando, nelle notti prive del chiarore della luna, erano immerse nelle tenebre cui solo tentava rompere qua e là il lumicino votivo, o rompeva fugacemente a quando a quando la fumosa torcia portata dal corrente lacchè, ed ora che il chiudere di un interruttore basta ad inondarle di luce pur nei punti più remoti e riposti!

Quale contrasto fra il portavoce ed il telefono; fra il microscopio di cui solo poteva servirsi il Galvani ed uno di quei meravigliosi istrumenti con cui Zeiss e Koristka pongono la scienza in grado di scoprire gl'infinitamente piccoli cui fu commesso insieme di mantenere la vita e di disseminare la morte!

Erano appena scoperti pochi gas, quando Faraday nasceva, e Lavoisier aveva appena enunciata la nozione della mutabilità del loro stato: Dewar celebrava il centenario della nascita del grande sperimentatore inglese sottoponendo l'aria liquida all'azione degli apparecchi che egli aveva adoperato.

Il volo dell' ape.
(Esperienze di Marey).

Quale contrasto fra le gallerie di una vecchia miniera e quelle dove l'energia è recata dall' elettricità; fra la somma di lavoro che importava il far saltare un piccolo masso e la facilità con cui oggi s'impianta un esercito di perforatrici elettriche; tra quel che costava ancora nel secolo XVIII il muovere e trasportare a Pietroburgo dalla vicina Finlandia la base di un monumento e la facilità con cui la fine del XIX ha veduto trasportare e sollevare le case, ha veduto il vecchio mondo mandare all'America locomotive mastodontiche e cannoni al cui tiro non sarebbe ostacolo il Monte Bianco! Fra i mezzi di cui disponeva una volta l'industria, ed i mezzi di cui ora dispone: fra la selva di alberi, pulegge, ingranaggi, cigne cui si doveva ricorrere anche solo pochi anni or sono per trasmettere la potenza operatrice alla macchina pure alle piccole distanze l'oltrepassare le quali non era concesso, e la semplicità con cui dalle vallate più romite e selvagge possiamo portare l'energia nel cuore delle nostre città!

Quale contrasto! Quale progresso nello spazio di un secolo!

Senonché, quando si esamina l' opera del secolo XIX nel campo delle scienze fisiche — usiamo la parola nel suo significato più ampio — un altro fatto s'impone alla considerazione.

Per i secoli antecedenti, si può dire che le mutazioni via via prodottesi nella vita sociale non erano state se non il continuarsi di quella evoluzione per la quale all'uomo che nella vergine foresta lavorava rozzamente le prime selci, si era andato sostituendo l'uomo di più in più civile; una evoluzione che certamente appare meravigliosa ove se ne paragonino i termini estremi, ma pur sempre dovuta prevalentemente ad un elemento soggettivo, e anche per ciò stesso, bisogna pur dirlo, ben lenta. Onde, un elemento d'indole soggettiva era sempre stato — in grado ora più, ora meno grande — il più importante principio informatore della vita civile.

Nel secolo XIX, invece, un altro fattore — un potente fattore — è entrato a plasmarla, ad imporne, diremo quasi, la fisonomia: esso è — non importa se immediatamente o mediatamente — la scienza.

È dessa che con le sue scoperte e le loro applicazioni ha modificato radicalmente le industrie, ne ha fatto scomparire tante, tante ne ha fatto sorgere di nuove, moltiplicatesi poi in maniera sbalorditiva; e per essa l'uomo che il più delle volte doveva fornire coi suoi muscoli alla macchina stessa la forza motrice, ora — ufficio ben più nobile — è diventato, della macchina, unicamente il moderatore intelligente.

È dessa che ha prodotto il fenomeno imponente dello spopolarsi delle campagne e dell'affluire delle popolazioni a centri che si vanno continuamente ingrossando. È dessa che, col creare i grandi opifici, ha dato vita a quelle collettività, la cui esistenza ha portato tanti — e tanto gravi — problemi nel campo economico e morale, e, con l'obbligare l'operaio a vivere fuori delle pareti domestiche, si è fatta sentire tanto profondamente per tutto, fino nel primo costituente della società, la famiglia. E da essa sono la locomotiva ed il telegrafo che hanno dato una base affatto nuova alla vita civile.

Ripetiamo: quale contrasto fra i secoli antecedenti ed il secolo XIX! E nel campo della fisica, quanto progresso!

Miniera con trazione ed illuminazione elettrica.
(Da pubbl. della « Union Elektricitäts Gesellschaft » di Berlino).

Quali le ragioni di codesto immenso progresso?

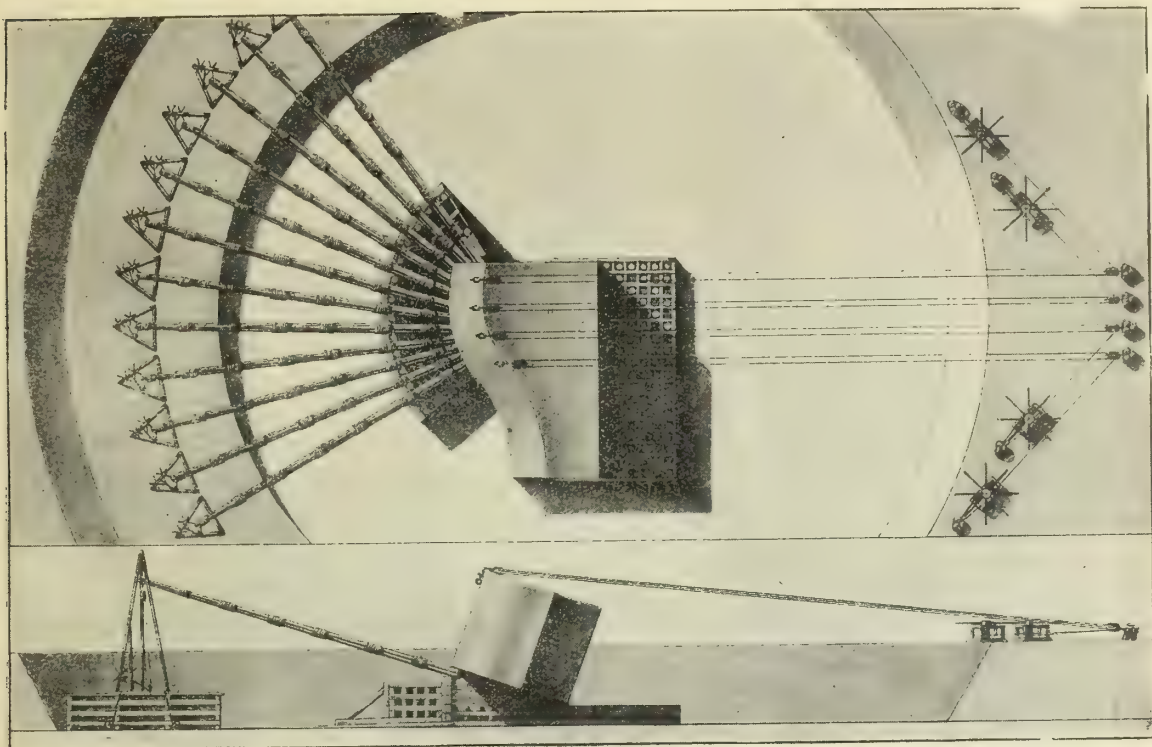
Anzitutto vuole essere ricordato quello spirito d'investigazione che si era andato acuendo nel secolo XVIII, quello spirito che aveva prodotto ovunque una moltitudine di pensatori in ogni ramo di attività intellettuale, quello spirito di investigazione da cui erano scaturite le grandi scoperte del Lavoisier e la invenzione del Volta, come la satira del Parini ed il lavoro del Beccaria, le teorie sociali della scuola francese e le dottrine filosofiche della Germania e dell'Inghilterra; quello spirito, i cui benefici — se in altri campi furono commisti a lagrime ed a sangue — in quelli sereni delle scienze della natura non furono contrassegnati se non da civiltà e progresso.

Ma poi vuole essere notato che codesto spirito d'investigazione, nella fisica, si mantenne durante tutto il secolo. Quando Bacone — in quella opera che, della grande strada della scienza, è una fra le maggiori pietre miliari — si fa a dire delle cause per le quali sì scarso era riuscito il patrimonio di cognizioni intorno alla natura accumulato durante venticinque secoli, osserva che, di essi, sei soltanto avevano portato un contributo: « il tempo, come la superficie della terra, dice egli, ha i suoi deserti ». Il secolo XIX — per le scienze fisiche — non ebbe deserti. Nè la universalità del lavoro fu solo nel tempo: essa fu pure nello spazio, chè ogni popolo civile portò continuo il suo contributo. Negli stessi paesi la cui civiltà è di ieri, il primo apparirvi di essa fu, si può ben dire, accompagnato dallo svilupparsi dell'amore per la investigazione della natura, e l'India, come la Nuova Galles, il Giappone come il Capo, hanno accademie ed istituti scientifici, filosofi e sperimentatori, come li hanno le nazioni colte della vecchia Europa e del nuovo continente.

Perforatrici elettriche a Rock Island nell'Illinois.
(Da pubbl. della « General Electric Company » in occasione del 64. congresso « dell'American Institute of Mining Engineering » a Montreal nel Canada, 1893).

Lo scoppio delle mine a Rock Island.
(Dalla pubblicazione citata).

Senonchè a poco avrebbe approdato codesto spirito d'investigazione quando alla sua importanza non avesse risposto la bontà dei mezzi d'indagine.

Di due ordini — è noto — sono quelli di cui si vale la fisica. Scienza induttiva per eccellenza, essa abbisogna della osservazione e dell'esperimento; scienza, la quale si propone di formulare leggi — che sono rapporti di gran-

Impianto di argani per muovere il blocco di granito destinato al monumento a Pietro il Grande, a Pietroburgo.
(Riproduz. della tav. III. del « Monument élevé à la gloire de Pierre le Grand » di Carburi, dir. dei lav. Parigi 1777).

dezze — e di coordinare i fenomeni in teorie, essa abbisogna delle misure e dell'analisi matematica: « anche il fuoco governano i numeri » aveva detto il filosofo greco.

Il secolo XIX, per codesti lati, cominciava per essa sotto i più lieti auspici: la scoperta del Volta le porgeva un mezzo d'indagine di una potenzialità immensa, e l'analisi matematica si trovava già a tale altezza da permettere a Fresnel i suoi lavori immortali.

Ma poi, lungo il cammino, i mezzi d'investigazione si andarono moltiplicando e perfezionando in maniera singolare, e di pari passo con essi — massime nell'ultimo mezzo secolo, per il soffio vitale portatovi dalle nuove vedute — progrediva l'analisi, onde fu possibile a Maxwell di basare su di essa l'ardita teoria elettromagnetica della luce, a lord Kelvin e a Tait di ridurre ad un lavoro di analisi matematica le grandi linee della filosofia naturale, a Bertrand, Poincaré, Frölich, Ferraris, Steinmetz e cento altri, di fare del calcolo il più potente fattore di progresso per la elettrotecnica. In un certo senso è lecito affermare che non v'è oggi problema alla cui trattazione non arrivi la fisica matematica.

E che dire dei mezzi di misura? Il grado di sensibilità da essi raggiunto si può chiamare invero meraviglioso.

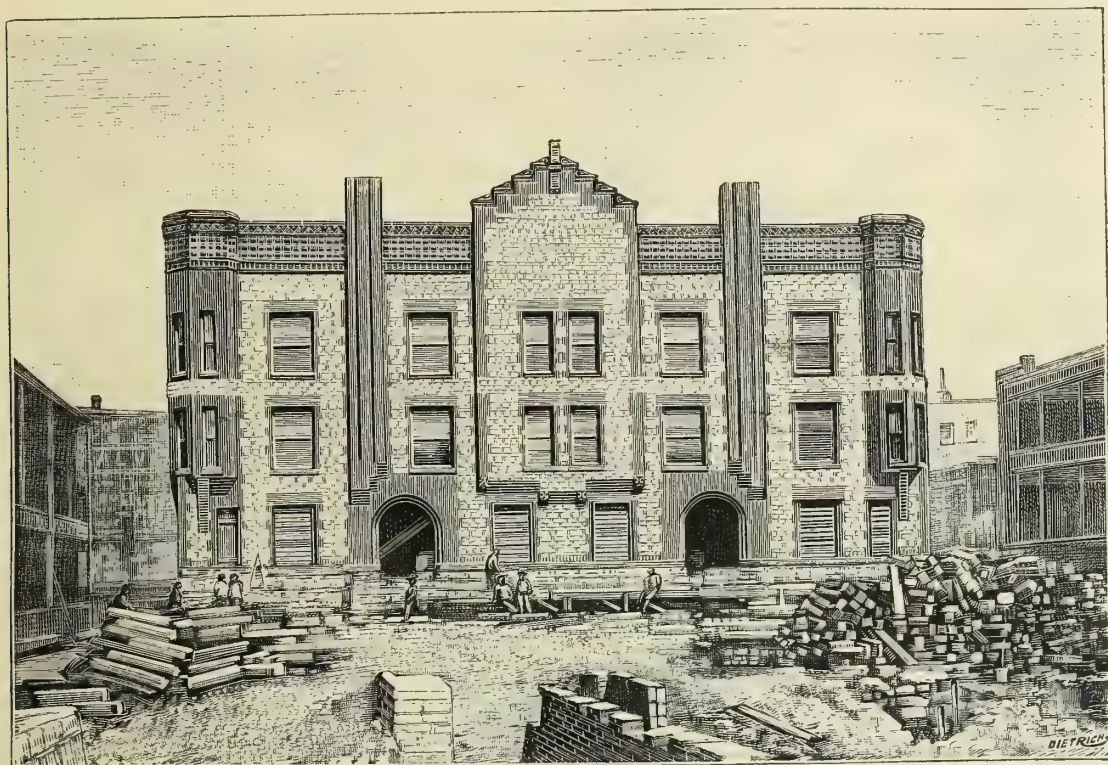
Ecco Raoult nel suo *crioscopio* usare termometri che valutano il cinquecentesimo di grado; Aitken numerare i granelli del pulviscolo atmosferico, e Foucault misurare nel breve spazio di una camera una velocità — quella della luce — di trecentomila chilometri per minuto secondo; una velocità, per la quale il tempo che occorre a proferire una sillaba basterebbe a compire il giro del nostro mondo all'equatore. Ecco Fizeau dedurre dai microscopici spostamenti delle righe spettrali la direzione e la grandezza dei moti di quelle stelle che pur paiono fisse nel cielo, e Feddersen determinare la durata di una delle mille scariche onde risulta la scintilla — fugace tanto! — dalla bottiglia di Leida.

E la connessione scoperta nei fatti e la perfezione in codeste misure sono tali che mediante la nota fornita da una canna d'organo è possibile controllare il lavoro che darà il bruciare un chilogrammo di carbone, e una piccola frazione di un centesimo di grado risultante da una selva di calcoli relativi ad un numero senza numero di misure basta ad avvertire i fisici del *Bureau International des poids et mésures* del guasto di un termometro.

Il trasporto per mare a Pietroburgo del *monolito*.
(Riproduzione della tav. VIII. della cit. monografia originaria di Carburi).

A tutti i fatti che si sono andati esponendo vogliono essere aggiunti altri due per rendere ragione del grande progresso delle scienze fisiche nel secolo XIX: la fecondità che è altissimo pregio delle grandi scoperte, e l'essersi fatto un passo verso la sintesi delle nostre cognizioni.

Ogni vero conquistato, se da una parte è frutto, dall'altra, al tempo stesso, è germe; un germe della cui potenzialità a nessuno è dato il dire *a priori* a quale altezza arrivi. Chi mai avrebbe potuto immaginare che dall' umile

fatto — l'attrazione esercitata dall'ambra sui corpi leggieri — osservato dal filosofo di Mileto sarebbero nate tutte le meraviglie dell'elettricità? Nulla pertanto di più logico che il lussureggiare di un campo nel quale si erano andati nel secolo XIX deponendo continuamente tanti germi vitali.

Agli Stati Uniti d'America — Una casa trasportata.

Nè piccola influenza sul progredire esercita il sapere che sono fra loro intimamente connessi fatti in apparenza disparati.

Certo codesta correlazione delle varie maniere di energia fisica, alla cui possibilità Faraday aveva portato un grande contributo con lo sbandire il concetto dell'azione a distanza; cotesta correlazione, presentatasi allo spirito di tanti eletti, formulata nettamente nel 1842 dal Melloni per le radiazioni termiche, luminose, chimiche inviateci del sole, divinata per ordini più generali di fatti dal Grove, illustrata dal Secchi, non è a tutt'oggi provata per la universalità. Possiamo, è vero, ponendo mente alle leggi onde tutti sono governati, pensare che nel medesimo ordine di fatti, cui sono dovuti luce, calore, elettricità, rientri pur quello amplissimo della gravitazione universale: la grande legge della ragione diretta delle quantità e della ragione inversa dei quadrati delle distanze, disciplina il moto delle sfere celesti come quello dei minuscoli pendolini elettrici; ed alto è il significato del fatto che possiamo illuminare le nostre vie, riscaldare le nostre case, magnetizzare l'acciaio ed elettrizzare i corpi, valendoci dell'energia che la gravità immagazzina nell'acqua cadente. Possiamo anche domandarci se l'attrazione reciproca dei poli dei magneti altro non sia poi se non un farsi più energico della loro gravitazione reci-

proca, ed a quali conseguenze nel campo della elettricità, porterebbe la teorica di Faye su la ripulsione — per parte del sole — delle code onde si ornano le comete. Questi ed altri quesiti ci possiamo porre, come altri gravissimi ne offrono la considerazione dei fenomeni studiati dalla chimica, la considerazione delle stesse azioni fisiche quali si esercitano fra molecola e molecola; onde, vedendo insieme e codesta trasformabilità reciproca delle varie maniere di energie e le analogie delle leggi che la governano, siamo naturalmente portati a pensare che tutte, tutte, esse conseguano da un'unica causa, motrice universale dalle mille parvenze.

Però, per quanto grandi siano i nessi che noi vediamo in questi campi, nulla ci autorizza oggi ad indurre e decidere in modo generalissimo.

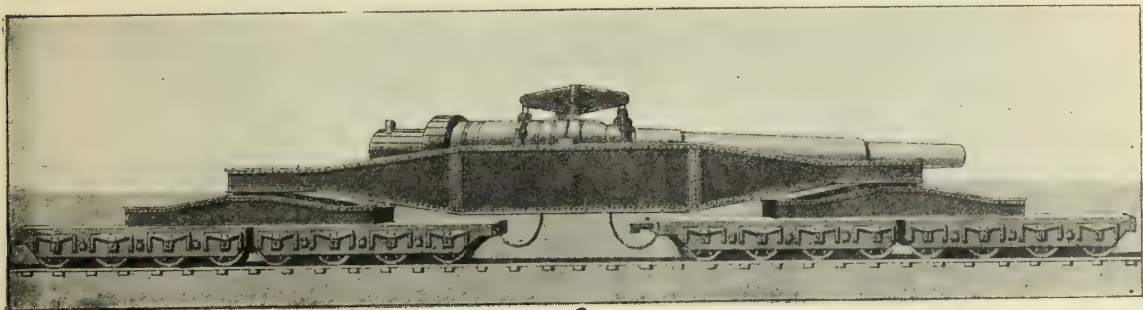
Forse verrà il giorno in cui un genio fonderà tutte le nostre cognizioni intorno alle cose della natura. Aveva opinato il Borelli che i pianeti fossero ritenuti in movimento intorno al sole dagli effetti risultanti da una potenza attrattriva e da una velocità di proiezione: pensavano Fracastoro, Keplero, il Galilei ed il Borelli che fra i corpi si esercitasse un'attrazione reciproca; ritenevano Keplero che essa fosse proporzionale alle loro masse, Bouillaud che essa variasse secondo la regione inversa dei quadrati delle distanze; ed Horrox avvisava che fino alla luna dovesse estendersi la gravità, poichè operava pure alle maggiori altezze accessibili all'uomo. Tutto codesto pensavano i filosofi del secolo XVII; quando sorse il genio di Newton. Nella sua potenza egli vide il nesso fra tutte quelle opinioni e ne trasse la teoria della gravitazione universale, fondendole in una sintesi, la più meravigliosa che mente umana abbia mai escogitato; meravigliosa per la estensione dell'oggetto che abbraccia l'universo; meravigliosa per la semplicità euclidea ed il rigore della dimostrazione; meravigliosa per la fecondità.

Sbarco di una grande locomotiva
destinata all' Esposizione Colombiana di Chicago.

Quel che avvenne delle opinioni dei filosofi del secolo XVII avverrà probabilmente di tutte le conquiste nel campo della filosofia naturale. Il giorno in cui ciò si avverasse sarebbe uno dei più belli nella storia del pensiero; in quel giorno l'umanità disporrebbe di una fonte inesauribile e di godimento intellettuale e di strumenti di progresso e di benefici. Ce lo lascia intravedere la storia stessa della scienza. E' la legge newtoniana che permise ad Adams ed

a Leverrier il trarre dal calcolo l'asserzione della esistenza di un mondo, su cui l'occhio dell'uomo — consciamente — non si era mai posato: e dalla medesima legge Laplace ha tratto i mezzi con cui si predice al navigante il livello cui ad un dato momento — sia pur lontano anni e decine di anni — l'onda della marea costringerà le acque dell'oceano; predizione il cui beneficio colui soltanto può valutare il quale sappia di che ruine quell'onda è capace.

La scoperta di Nettuno, e la predizione sicura dell'altezza della marea, ecco — tra mille — conquiste belle davanti alla scienza pura, preziose per quella applicata, dovute alla sintesi newtoniana.

E come la newtoniana, la sintesi che Maxwell fece dei fenomeni luminosi e degli elettrici ha già portato i suoi frutti, e sono tali che ad essi l'umanità — pur testimone già di tante meraviglie — rimase attonita, quasi incredula. Aveva la leggenda gli spiriti messaggieri volanti per l'aria, aveva i palazzi incantati nei quali mani di fata rendevano sfolgorante tutto su cui si posassero, aveva le pietre magiche mediante le quali era consentito lo scernere quel che era invisibile. Sono oggi realtà la telegrafia senza fili ed i campi elettrostatici in cui brillano lampade e tubi nelle mani del fisico senza che filo alcuno adduca ad essi energia; sono oggi realtà quei raggi misteriosi, la cui mercè spariscono tante barriere che contendono all'occhio la visione, e l'interno stesso del nostro corpo ha già svelato in breve ora tanti misteri. Primi frutti sono questi dalla sintesi maxwelliana. Tanto ha già dato l'aver potuto scoprire che sono di una sola natura i fenomeni della luce e quelli dell'elettromagne-

Il trasporto a Chicago del gran cannone Krupp
destinato all'Esposizione Colombiana.

tismo. Che sarebbe da aspettarsi il giorno in cui l'umanità fosse in possesso della sintesi universale?

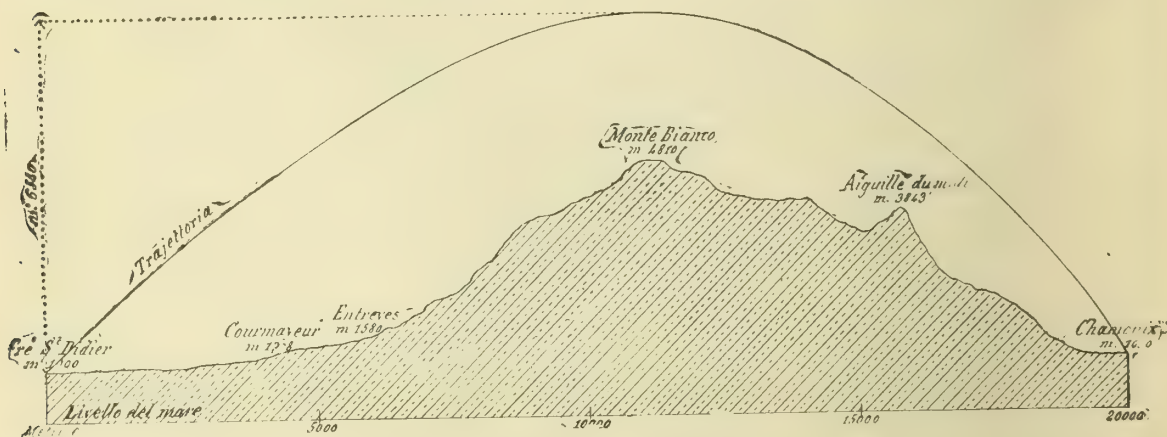
Passare in rassegna il lavoro compiuto durante il secolo XIX nel campo della fisica in generale, con riguardo speciale alla elettricità, ecco l'argomento di queste pagine. Dati i limiti nei quali la rassegna dovrà contenersi, non potrà offrire, del quadro grandioso, se non le linee principali.

Confidiamo però che bastino a mostrare quanto sia stato in quel secolo il progresso in cotesto campo del pensiero, e di quanta luce abbia brillato l'ingegno umano. Ed appunto perchè la rassegna deve essere contenuta entro limiti molto ristretti gioverà fin da questo momento parlare delle idee sul calore e sul lavoro meccanico, e dare pure, prima di entrare in argomento, un cenno sul meccanismo delle ondulazioni.

II.

Calore e lavoro meccanico

Penso che noi possiamo con tutta sicurezza conchiudere che ogni tentativo per iscoprire un effetto qualsiasi del calore sul peso apparente dei corpi rimarrà senza frutto.

Così Beniamino Thomson — più noto sotto il nome di conte di Rumford — il 2 maggio 1799, conchiudeva alla *Royal Society* di Londra una lettura in cui aveva dato conto di esperienze da lui stesso, in quell'anno, istituite a Monaco di Baviera — concepite e guidate con quella sagacia di cui nella

Dragramma del tiro del gran cannone Krupp.
(Da pubbl. della Casa Krupp di Essen).

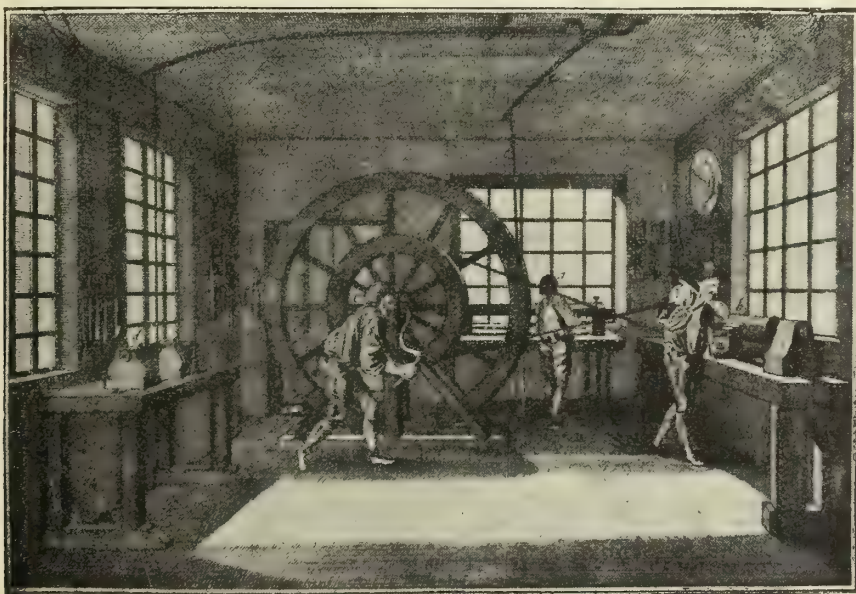
feconda sua vita scientifica ha lasciato esempi tanto luminosi. — Col suo lavoro Rumford portava il contributo di un fatto di prima importanza alla risoluzione di una questione scientifica capitale: la natura del calore.

Oggi — in cui è pieno, incontrastato, il dominio delle nuove idee su lo spirito nostro — può forse, agli occhi di taluno, apparire perfino strano che si avesse a ritenere necessario l'istituire esperienze per riconoscere se il variare unicamente della temperatura di un corpo ne modifichi il peso. La cosa invece non doveva esserlo affatto a quelli degli scienziati del secolo XVIII: quante pesate non aveva fatto Nollet per indagare se, ed in quale misura, gatti e piccioni variassero di peso allorché venivano sottoposti all' azione della « materia elettrica » ! E quanto al calore, era anzi ben naturale si indagasse se l' esservene di più o di meno in un corpo rendesse questo più o meno pesante, quando — non bisogna dimenticarlo — uomini come il creatore della *meccanica celeste*, il Laplace, non ne escludevano la materialità.

Che se l'idea di una variazione di peso dei corpi per effetto del calore si spense col secolo XVIII, quella del calore come *sostanza* a sè è giunta fino a metà del XIX. Uno spirito illuminato, il Matteucci, ancora nel 1850, nella quarta edizione delle sue *Lezioni di Fisica* — dopo avere accennato che la causa dei fenomeni termici chiamavasi *Calore* o *Calorico* — scriveva: « Si dice *calore* se si considera negli effetti che produce sopra i nostri organi svegliandovi le sensazioni di caldo e di freddo; è denominato *calorico quando si suppone costituito da un fluido o corpo imponderabile* ».

Il Matteucci si trovava così allo stesso punto di Nicholson che cinquant'anni prima, nella sua *Introduzione alla Filosofia Naturale*, aveva detto: « Due sono le opinioni rispetto al calore: secondo la prima esso consiste in un moto vibratorio delle parti dei corpi fra loro, la maggiore o minore intensità del quale cagiona l'accrescimento o la diminuzione della temperatura. Secondo l'altra il calore è un fluido sottile che facilmente penetra i pori di tutti i corpi, e fa sì che si dilatino per causa della sua elasticità o in altra guisa. Ognuna di queste opinioni è accompagnata da varie difficoltà. I fenomeni del calore si possono spiegare con ambedue, purchè si concedano rispettivamente a ciascheduna di esse alcune supposizioni: ma la mancanza di prove della verità di tali supposizioni ha reso finora difficile, se non impossibile, il decidere se il calore consista puramente in un moto, oppure sia una materia particolare ».

Come si vede, Nicholson e Matteucci esponevano oggettivamente le due teorie, senza pronunciarsi per l'una piuttosto che per l'altra.

Così due eminenti cultori della filosofia naturale. Così un fisico connazionale di quel Morosi che fino dal 1822 aveva istituito belle esperienze di conversione del lavoro meccanico in calore, e di quel Macedonio Melloni che nel 1842 nella sua *Memoria sulla identità delle diverse radiazioni luminose*, *calorifiche* e *chimiche vibrate dal sole e dalle sorgenti terrestri* aveva detto: « l'uguaglianza perfetta

Un'officina da tornitore alla fine del secolo XVIII.
(Riproduzione di un'incisione dell'epoca).

della costituzione delle diverse ondulazioni eteree che formano le radiazioni elementari della luce, del calore e dell' irraggiamento chimico può essere omai considerata come una verità acquisita alla Scienza ». Quanto al Nicholson, poi, non occorre ricordare come fosse di quella nazione, la quale con Newton aveva dato la formula della legge capitale su la trasmissione dell'energia meccanica da un corpo, o da un sistema di corpi, ad un altro; con Bacone aveva detto che

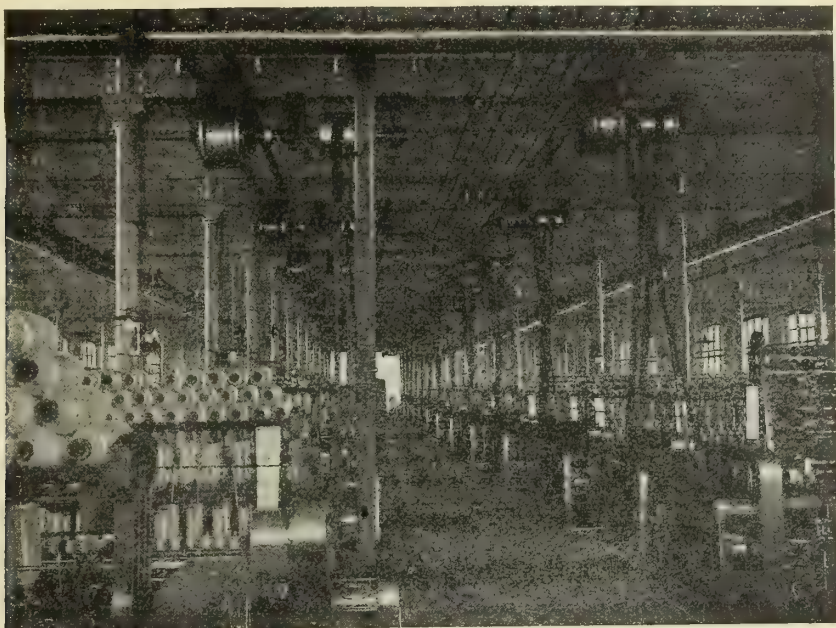
il calore « è un moto di estensione e di ondulazione nelle minime particelle dei corpi »; con Boyle che esso « sembra consistere principalmente nella proprietà della materia chiamata movimento » e che « condizione necessaria si è che le particelle agitate siano abbastanza piccole, perchè alcuna di esse non possa cadere sotto i sensi »; che infine, ancora con Newton, aveva parlato di quel « moto di vibrazione nel quale consiste il calore ».

L'industria del cotone alla fine del secolo XVIII (Riproduzione da un'incisione dell'epoca).

Esempi come quelli di Nicholson e di Matteucci potrebbero molto facilmente moltiplicarsi: ma avremo detto tutto in poco quando avremo ricordato come durante la prima metà del secolo XIX la teoria della materialità del calore abbia avuto sostenitori pure tra uomini i più eminenti, i quali andavano sciupando ingegno ed opera nell'escogitare ipotesi a puntello delle vecchie idee; ipotesi che dovevano forzatamente essere strane, perchè — da una parte — come ben a ragione osserva Verdet, « lo svolgimento del calore accompagnante l'attrito ha sempre costituito la pietra d'inciampo per la teoria della materialità del calore », e — dall'altra — cotesto svolgimento era un fatto ben constatato.

Non parliamo — per soffermarci un momento su quest'ultimo punto di capitale importanza — di quelle grosse pietre d'inciampo che aveva messo il Davy, quando — nel 1799 — aveva fuso del ghiaccio semplicemente col confricarne l'uno contro l'altro due blocchi, e quando aveva riscaldato due pezzi di metallo, nel vuoto, su un blocco di ghiaccio, sfregandoli l'uno contro l'altro mediante un meccanismo di orologeria. Alludiamo piuttosto alle sperienze di Rumford del 1798 sul calore svolto nella perforazione dei cannoni, e di cui aveva dato conto alla *Royal Society* di Londra con la memoria già accennata, la quale basterebbe da sola a mostrare in quale grado fossero in lui le doti del fisico. Convinto che « anche nei fatti ordinari della vita si possono incontrare mille occasioni per interrogare la natura », egli, che — come è noto — si trovava a Monaco di Baviera quale direttore di una fabbrica d'armi, aveva sottoposto a misura il calore che si svolgeva nella perforazione dei cannoni, disponendo — tra altro — le cose in modo che essa avvenisse nell'acqua e determinando, dal riscaldamento di questa, la quantità del calore sviluppato. Questa era stata tanta che l'acqua — 18.77 libbre *avoirdupois*, ossia 8 chilogrammi e mezzo — dalla temperatura iniziale di 47° Fahrenheit — poco più che 8 centesimali — era arrivata a quella d'ebollizione. « Sarebbe difficile, così Rumford nella sua memoria, il descrivere lo stupore dipinto sui volti dei presenti nel vedere riscaldata una sì grande quantità di acqua, e fatta effettivamente bollire, senza fuoco di sorta ». Indubbiamente quegli esperimenti costituivano essi pure una « pietra

d' inciampo » e — per il fuoco di fila di domande con cui il Rumford chiudeva il resoconto, nonchè per le risposte meravigliosamente lucide nella inesorabilità della loro logica, ch'egli dava ad esse — tale, quella pietra, da riuscire ostacolo insuperabile.

Tuttavia esse non impedirono che una teoria assurda vivesse ostinatamente pure in tempi in cui sfolgorante era la fiaccola dell'esperienza: tanta potenza

Filatura di cotone alla fine del secolo XIX. « Lo Stabilimento Prochoroff a Mosca ».
(Da pubblicaz. della Casa Brown Boveri di Baden).

è nelle idee anche quando sono false! Quanta indulgenza insegna cotesto fatto verso coloro che — nelle cose della natura — non potevano vedere ad altra luce all'infuori di quella fatua delle spiegazioni con cui li facevano contenti la scolastica e le altre scuole aprioristiche!

È impossibile richiamare questo periodo tanto importante nella storia del pensiero umano, senza sentire tutta la verità di quel che dice nel *Novum Organum* il grande filosofo inglese, là dove — ricordato come il sillogismo consti di proposizioni, le proposizioni di parole, e le parole siano i segni delle idee — ne conclude che « ove le idee siano arbitrariamente astratte dalle cose reali, nessuna saldezza può avere ciò che vien costruito su di esse; onde, solo può essere speranza nella induzione vera ».

Mentre, però, da una parte durava ostinato l'errore, dall'altra una serie di sommi camminava trionfalmente per la via regale della verità, e andava sia scoprendo mezzi straordinariamente ingegnosi e fecondi con cui applicare all'investigazione i procedimenti del calcolo o con cui studiare gli effetti meccanici del calore indipendentemente dalla natura di questo e dalla costituzione dei corpi, sia collocando la teoria stessa del calore sulle basi inconcusse dell'esperienza. Non possiamo esporre in modo particolareggiato codesta parte gloriosa di storia della scienza: ciò richiederebbe, per dirla col Tait, dei volumi. Epperò, rimandando coloro che amassero conoscerla alle opere magistrali di Verdet e di

Zeuner, ricorderemo unicamente il riassunto datone dal Tait stesso in quel suo *Schizzo Storico della Teoria dinamica del calore*, che — se può qua e là lasciare desiderio di maggiore imparzialità verso qualche scienziato non inglese — resta pure sempre una monografia degna del grande nome del suo autore.

« I progressi successivi più importanti, così il Tait, dal punto di vista storico, della *fondazione* e dello *sviluppo* della scienza dinamica del calore — astrazion fatta dall'applicazione — possono ricapitolarsi così:

1.° Grande proposizione generale di Newton sul trasporto dell'energia meccanica da un corpo o da un sistema di corpi ad un altro (1687);

2.° Prova data da Davy che il calore è una delle forme dell'energia, sottoposta alle leggi di questa (1799);

3.° Valutazione molto approssimata fatta da Rumford dell'equivalente meccanico (1798);

4.° Grande opera di Fourier su una delle forme della dissipazione dell'energia (1812);

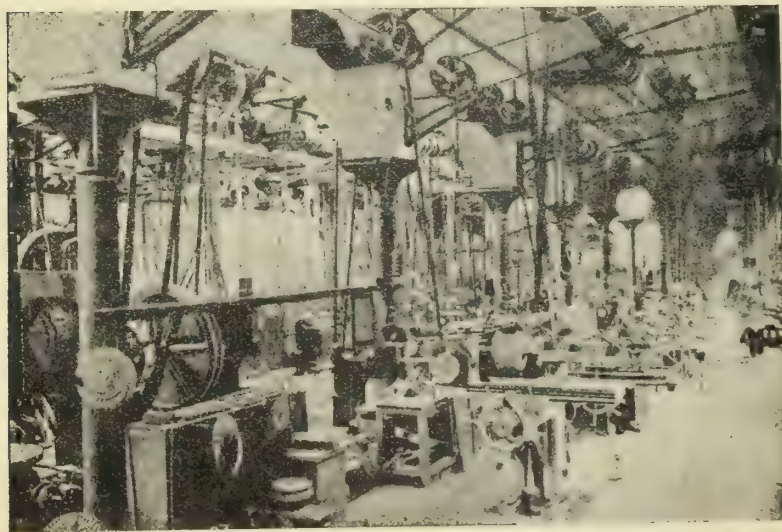
5.° Principio fondamentale di Carnot, suo ciclo di operazione e suo criterio o carattere distintivo di una macchina perfetta (1824);

6.° Introduzione da parte di Thomson, per la misura delle temperature, di una scala termodinamica assoluta (1848);

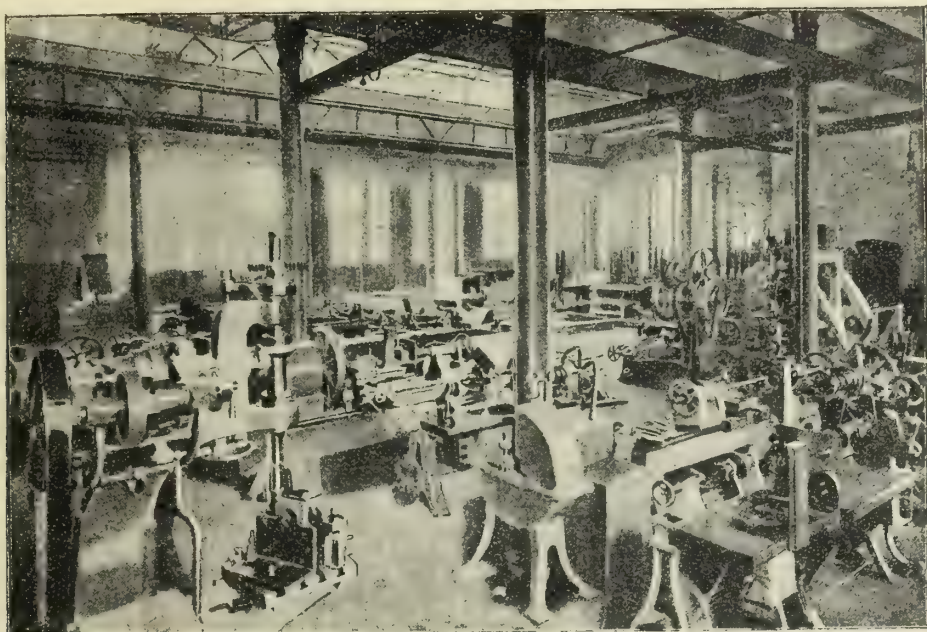
7.° Determinazione esatta dell'equivalente meccanico del calore ottenuta da Joule, le cui esperienze hanno per conseguenza l'accettazione generale e definitiva della vera teoria (1843-49);

8.° Stabilimento matematico — basato in parte sui metodi di Carnot — della vera teoria da parte di Clausius e di Rankine prima, di Thomson più tardi con maggiore generalità e maggiore indipendenza da ogni ipotesi; ristabilimento della seconda legge da parte di Clausius e verificazione sperimentale eseguita da Joule dei risultati generali di Thomson (1849-51);

9.° Teoria di Thomson della dissipazione dell'energia (1852).

A cotesta cronologia, che — come lo schizzo da cui è tolta — se « passa sotto silenzio una grande quantità di materiali preziosi » non lascia però da parte « alcun passo diretto di reale importanza nello sviluppo della vera teoria » non possiamo esimerci dal far seguire qualche — sia pure sintetica — illustrazione.

Un'officina meccanica nella seconda metà del secolo XIX, prima dell'applicazione dell'elettricità ai motori.
(Da pubblicazione della Casa Siemens e Halske di Berlino).

Diciamo prima — non già per fare un' analisi, che non avrebbe ragione, ma per metterne in rilievo l'importanza — dell'opera di Fourier con cui il secolo XIX iniziava la serie brillante delle scoperte. Su quali basi poggiasse la *Théorie de la chaleur* lo dice Fourier medesimo: « I principi di questa teoria — così quel grande, parlando dell'opera propria — sono dedotti, come quelli della meccanica razionale, da un piccolissimo numero di fatti primordiali, di cui i geometri non considerano la causa, ma che ammettono come risultanti dalle osservazioni comuni e confermati da tutte le esperienze ».

Egli aveva veduto che le equazioni del moto del calore dovevano essere di una sola famiglia con quelle che rappresentano le vibrazioni dei corpi sonori o le oscillazioni estreme dei liquidi, e, convinto essere nello « studio profondo della natura la sorgente più feconda delle scoperte matematiche », non aveva avuto che assecondare lo sviluppo logico che il genio gli aveva additato, portandolo nelle alte regioni delle idee generalissime; di quelle idee in cui è la chiave di fatti che si applicano ai moti del calore, come alle onde mercè le quali si converte in energia elettrica la energia meccanica o alle quali

Un'officina meccanica alla fine del secolo XIX, azionata da motori elettrici.
(Da pubblicaz. della Casa Siemens e Halske di Berlino).

dobbiamo le divine armonie dei suoni. Il perchè, se di lui fu detto a ragione che col suo potente metodo ha ridotto ad una forma perfettamente definita la risoluzione di tutte le questioni relative al trasporto del calore sia per conduzione che per irraggiamento, è da aggiungere che egli — ancora alla fine del secolo, nei cui primordi aveva dettato l'opera immortale — doveva raccogliere altri allori — e benemeritare altamente — per l'aiuto portato dalle sue concezioni matematiche alla trattazione di vitali questioni nuovissime della elettricità, quali sono quelle relative alle correnti alternate cui dobbiamo la possibilità della trasmissione dell'energia a grande distanza. Che se esperienze — prime quelle di Forbes, comunicate alla *British Association* nel 1852 — più delicate di quelle concesse ai fisici del principio del secolo — la prima memoria di Fourier fu presentata manoscritta all'Istituto di Francia alla fine del 1807 e la seconda nel settembre del 1811 — hanno mostrato che alcune soluzioni di Fourier non sono completamente rigorose quando si tratti di grandi differenze di temperatura, le soluzioni stesse, presentano pur sempre — diremo col Tait — « una approssimazione sufficiente perchè si possa applicarle a ricerche del più alto interesse, quali il raffreddamento secolare della terra e gli effetti della radiazione solare su la temperatura sotterranea ». Tale è l'opera insigne di Fourier.

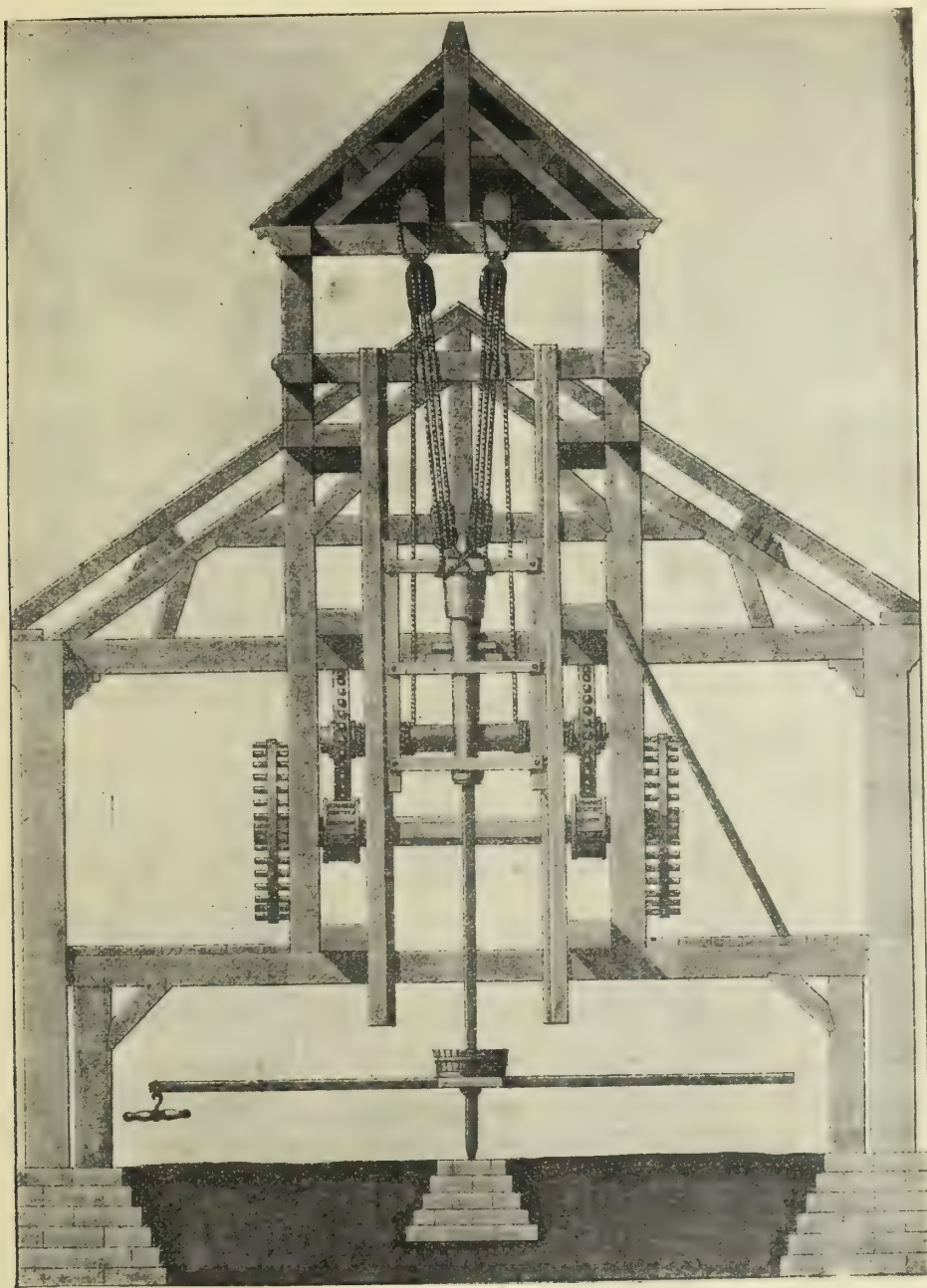
Quanto a Sadi Carnot — figlio del celebre membro del Direttorio — spirito veramente superiore — come basterebbero a mostrarlo le note del suo diario che ne rivelano la profondità e finezza di osservazione nel campo morale e in quello dei rapporti sociali — ascoltiamo il Verdet: « Sadi Carnot, scrive egli, è l'autore delle forme di ragionamento di cui la teoria meccanica del calore fa uso incessante: è nel suo scritto che si trovano i primi esempi di quei cicli di operazione che prendono un corpo in uno stato determinato, lo fanno passare ad uno differente seguendo una certa via e per un'altra lo riconducono al suo stato primitivo ». Sono i cicli che, tra altro, hanno permesso — a Clapeyron per il primo — lo studio razionale della motrice a vapore.

La eccellenza del metodo ideato da Carnot, risalta ancora maggiormente quando si pensa che il suo lavoro — *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* — ha per punto di partenza la materialità del calore, materialità su la quale — come appare dalle note trovate fra le sue carte — egli deve avere poi mutato idea, ma in cui credeva quando, a 28 anni, pubblicava quella monografia, piccola come il *Dei delitti e delle pene*, pari ad essa per la importanza scientifica e per quella elevatezza fisolofica, senza di cui la ipotesi della materialità del calore non avrebbe permesso all'autore un ragionamento così fecondo, senza di cui — anche perchè in esso è potenzialmente tutto il lavoro di un altro gran padre della termodinamica, il Clapeyron — molto probabilmente non sarebbero stati tanto rapidi i progressi della nuova teoria.

È ripetuto in tutti i corsi di fisica il principio che porta il nome di Carnot. Esso dice in sostanza che *in qualunque macchina termica non può esservi lavoro prodotto se non quando esiste una differenza di temperatura tra due organi dell'apparecchio*, e che *il maggior lavoro che il calore può fornire, è indipendente dai mezzi impiegati per operare la trasformazione, e dipende soltanto dai limiti di temperatura entro i quali essa avviene.*

Esperienze elettriche di Nollet.
(Riproduz. della Pl. 2.2. VII dell'opera originaria di Nollet « Rècherches sur les causes partic. des phén. électr. » Paris MDCCLIV).

Alla gloria di avere dato alla termodinamica una delle leggi fondamentali, un'altra se ne deve aggiungere, grande non meno. Quando Sadi Carnot scriveva la sua memoria immortale, la legge della equivalenza fra il calore e il lavoro non era ancora stata scoperta: egli la ignorava, come tutti la ignoravano. Ma egli arrivò più tardi a concepirla e a formularla esattamente: le note manoscritte da lui lasciate e i suoi programmi di esperienze lo dimostrano nel modo più luminoso; leggendole, colpisce l'analogia tra le idee che vi si manifestano e quelle sviluppate più tardi da Mayer, tra i suoi piani di esperienze e le esperienze realizzate da Joule.

Quei preziosi cimeli sono ora negli archivî dell'Accademia di Francia, e solo

Macchina per perforare cannoni, alla fine del secolo XVIII.
(Riproduzione di un'incisione dell'epoca).

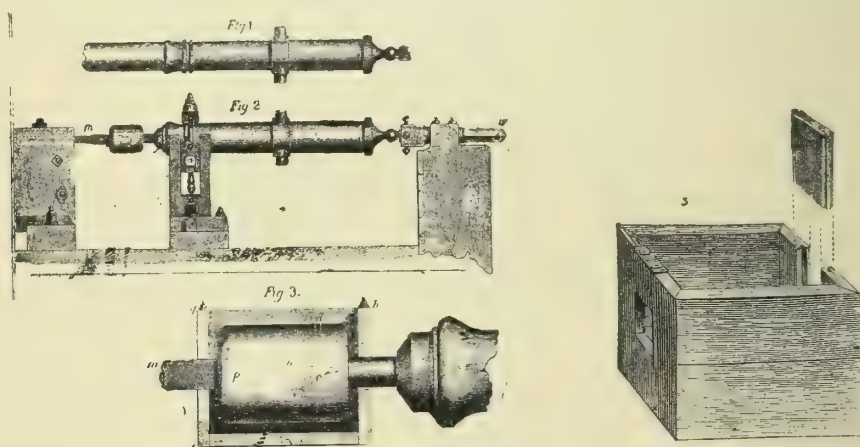
nel 1878 furono pubblicati in parte: Mayer e Joule non potevano assolutamente conoscerli, e Sadi Carnot era stato rapito dieci anni — a 36 nel 1832 — avanti che Mayer pubblicasse — puntata del maggio 1842 degli annali di Woehler e Liebig — le sue *Osservazioni su le forze della natura inanimata*, e otto avanti la data che Joule assegna ai suoi primi esperimenti.

Onde, il merito di Mayer e di Joule rimane in tutta la sua grandezza: peró a Carnot la gloria d'esserne stato un precursore.

Anzi, per quel che riguarda la prima legge della Termodinamica, che va sotto il nome di principio di Mayer — e puó enunciarsi col dire che *ad un*

lavoro determinato corrisponde sempre la stessa quantità di calore sviluppato, qualunque sia il processo messo in opera per trasformare questo lavoro in calore, — oseremmo dire che essa è nelle note di Carnot formulata con nettezza che gareggia con quella che si riscontra nella classica memoria del Mayer.

« Per risolvere le equazioni esistenti fra la forza di caduta ed il movimento da una parte ed il calore dall'altra, devesi rispondere alla questione: quale è la quantità di calore che corrisponde ad una data quantità di movimento o di forza di caduta effettiva? Noi dobbiamo per esempio trovare a quale altezza su la superficie della terra, si debba sollevare un peso perchè la forza della sua caduta sia equivalente al calore necessario per riscaldare un ugual peso di acqua da 0° da 1° centigrado. Che una tale relazione esista realmente deve ritenersi dimostrato . . . . : la caduta di un peso da un'altezza di circa 365 m. corrisponde al riscaldamento di un ugual peso d' acqua da 0° a 1° ».

Codesti i brani culminanti della memoria del Mayer: ebbene, nelle note di Carnot è scritto: « . . . . . allora è la cosa più semplice che il calore possa prodursi mediante il consumo di potenza meccanica, e che esso possa produrre questa potenza . . . . . Ovunque è distruzione di potenza meccanica,

Esperienze di Rumford.

(Riproduz. della Tav. ultima, Vol. I, della edizione delle opere di Rumford fatta dalla American Academy of Arts and Sciences).

Leggenda esplicativa: Fig. 1 Cannone da perf.; fig. 2 il cann. disposto per l'esp.: *m* robusta sbarra di ferro port. il trap.; fig. 3 *ghkl* cassetta di legno piena d'acqua in cui avveniva la perfor. e il conseguente svolg. di calore per attrito; a destra veduta prospettiva della cassetta calorimetrica.

è nel medesimo tempo svolgimento di calore *in quantità proporzionale* alla potenza distrutta . . . . : la produzione di un'unità di potenza motrice necessita la distruzione di 2,70 unità di calore »

Il principio di Mayer è qui formulato in modo da autorizzare il dire che Carnot aveva avuto la visione completa anche della prima delle leggi della Termodinamica; e se, tenuto conto che codesta *unità di potenza* — dovrebbe dirsi di lavoro — corrisponde al sollevamento di 1000 chilogrammi all'altezza di un metro, il rapporto assegnato di 2,7 risulta del 13 per cento inferiore a quello oggidì accertato, non è meno vero che quel valore, ponderate tutte le circostanze, rappresenta un risultato semplicemente meraviglioso: esso — corrisponde a 370 — è anche più approssimato di quello

— 365 — che Mayer aveva indicato, e le cui differenze dal vero — 427 — avevano per unica ragione i valori a quel tempo attribuiti a dati d'esperienza allora troppo lontani dal vero.

Così si erano andati stabilendo i principi di una scienza nuova, che doveva, non solo mutare radicalmente l'indirizzo della fisica intera, ma bensì anche recare luce in un ordine amplissimo di fatti. Nel volo della farfalla come nel formarsi del nembo pauroso, del fantastico cumulo splendente, del delicato ammasso cristallino che ai raggi del sole cadente imporpora il cielo; nel sollevare che l'avoltoio fa della sua preda e nel salto del camoscio, come nel ruggito che si perde per l'aria limpida infocata e nel fischio della sirena trasportata a tutto vapore tra le nebbie pericolose dell' oceano; nelle modificazioni che la materia subisce sotto l'azione della motrice a vapore, come nel lavoro compiuto dai muscoli dell' uomo; nel ruinare dei ghiacci del polo per il moto delle onde tra le quali scendono a cullarsi, come nel degradare continuo delle vette eccelse per l'azione dell'acqua e del vento; per tutto, in qualunque campo si porti la nostra attenzione, noi vediamo lavoro che ripete la sua origine dal calore. Qua lo svolgono funzioni della vita organica, là combustione od altre forme dell'attività chimica, altrove lo fornisce direttamente il sole: per tutto, però, nei deserti gelidi del polo e in quelli arsi dei tropici, tra i fiori del prato, nei regni dell'aquila e in quelli dell'uomo, per tutto, ove si compie un lavoro si consuma del calore. E per tutto possiamo pure vedere la potenza meccanica generare calore: lo vediamo nella scintilla che scaturisce dai legni confricati dal selvaggio, nel metallo quando riceve l'impronta che tramanderà alle genti venture, nel proiettile terribile che la corazzata arresta, nel ghiaccio delle Alpi che si scioglie al soffio del *foen*, nella meteora errante per il cielo allora che per un istante l'atmosfera nostra ne fa sfolgorante la via.

Sadi Carnot a 17 anni.
(Da ritratto di Baillyes eseguito nel 1813).

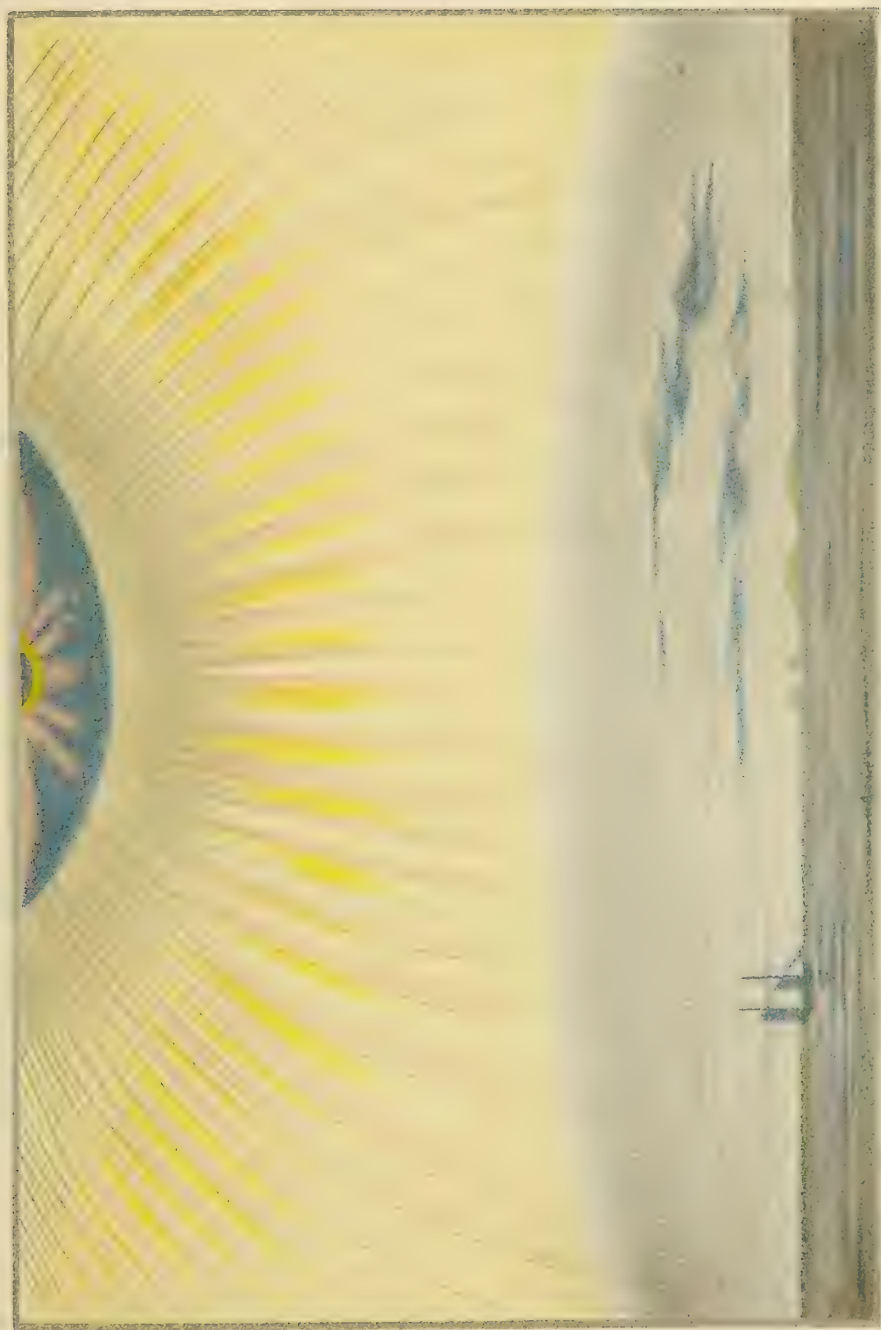
È scienza, la nuova, i cui dominî vanno ben oltre il campo della pura fisica. Essa, dal corpo inanimato e dalla vita dell'organismo microscopico, sale ad abbracciare quella del re del creato, e si estende alla attività stessa di tutto l'universo sensibile, cosicchè — per recare fino da ora qualche esempio — poterono poi Langley rivelare la eccellenza meravigliosa con cui è utilizzata la energia nella luminosità degli organismi fosforescenti, Tesla — applicando al mondo inorganico gli studi del Langley — arrivare alle celebri esperienze che fecero attoniti gli scienziati dei due mondi, Hirn sottoporre

ad esame la macchina umana, Mayer ed Helmholtz, asserire la costanza dell'energia totale dell'universo sensibile, Folie dare la dimostrazione scientifica — matematica quasi, com'egli stesso dice — della creazione; W. Thomson arrivare ad escogitare lo stato finale al quale tende il creato fisico, destinato a divenire spazio senza vita, immensità riempita da molecole in preda alle rapide

Fac-simile di un autografo di S. Carnot pubblicato dal fratello Enrico.

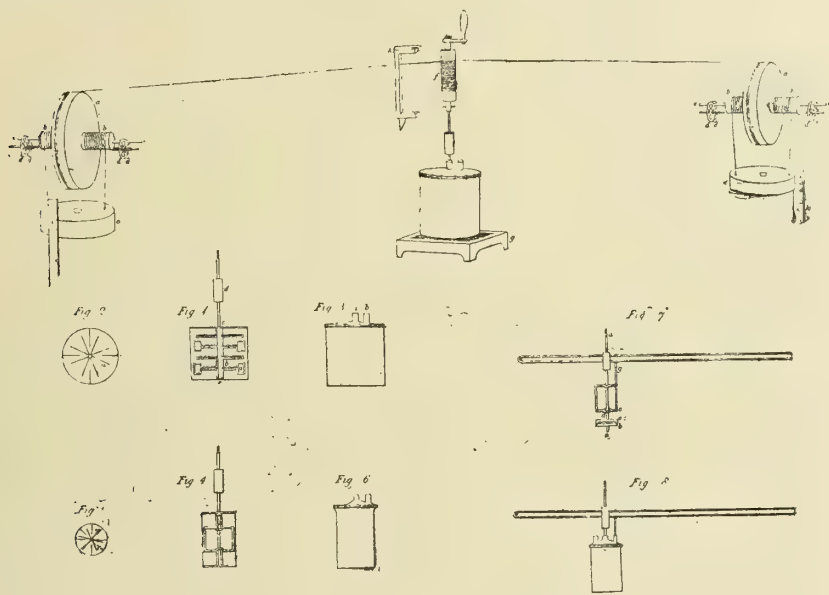
oscillazioni che costituiscono il calore, conservanti intatta la energia stessa del loro inizio, ma impotenti ad ulteriori trasformazioni.

In realtà, perchè la teoria dinamica del calore potesse costituire per la fisica moderna un cardine tanto sicuro occorreva che i principi di essa ricevessero la sanzione dell'esperienza; e questa sanzione fu ricercata — e si trovò piena, trionfatrice di ogni obiezione, sì da rimanere scevra da ogni dubbio — ovunque fosse energia: onde, venne da fatti i più disparati.

Tav. II²

(Riprod. dall'op. di Lemström (*L'Aurora Boreale*), per gentile concessione dell'A. e dell'Editore Gauthier-Villars, di Parigi)

Di alcuni tra cotesti studi sperimentali — più propriamente diretti a stabilire il rapporto tra le quantità corrispondenti di calore e di lavoro, o, come lo chiamano, *l'equivalente dinamico della caloria* — studi che formano parte notevole della produzione scientifica del secolo XIX, è anzi necessario dire fino da questo momento.

Vengono primi quelli di James Prescott Joule.

Cominciati nel 1840, quando egli scopriva le leggi del calore svolto dalla

Apparecchi di Joule.

(Riproduz. della Tav. VII, monografia originaria di Joule, in Philosophical Transactions of Royal Soc. of London, MDCCCL).
Leggenda esplicativa: Fig. 1 e 2 apparecchio per produrre l'attrito dell'acqua contro una ruota a palette — 3 vaso di rame in cui era chiuso l'apparecchio girevole — 4, 5, 6 sim. per attrito del mercurio — 7 e 8 sim. per attrito contro un disco orizzontale di ghisa — 9 veduta prospettica dell'apparecchio.

coppia voltiana, continuati nel 1843 e 1844 con lo studio dell'energia nelle macchine magneto-elettriche, e del calore sviluppato ed assorbito nella compressione e rarefazione dei gas, furono seguiti da cinque serie di prove — terminate nel 1847 — i cui risultati sono raccolti in una memoria che — col mezzo di Faraday — veniva presentata alla *Royal Society* di Londra il 6 giugno 1849 e letta il 21 successivo. Nelle esperienze di coteste serie Joule sviluppava calore mediante l'attrito svolto nella frizione dell' acqua — serie 1ª — o del mercurio — serie 2ª e 3ª — contro una ruota a pale fatta girare entro il liquido, oppure — serie 4ª e 5ª — per la frizione di un disco di ferro fuso sfregante contro un anello, della stessa materia, premutogli contro mediante una leva.

I corpi sottoposti all'esperimento erano racchiusi entro opportuno calorimetro, così da potersi misurare il calore svolto, mentre poi — essendo la rotazione prodotta mediante caduta di pesi — era facile — dalla grandezza di questi e dall'altezza della caduta — calcolare il lavoro speso — consistente, è ovvio, in quello del riportare ogni volta i pesi al punto più alto della loro corsa. —

Altre esperienze ancora — e numerose e svariate ed importanti — istituì

il fisico inglese, tra le quali — memorabili anche per il fatto da cui ebbero origine — quelle riferite nella classica memoria letta alla *Royal Society* il 24 gennaio 1878. Misure — portate dagli studi nuovi su l'elettricità riguardanti il calore svolto dalla corrente — avevano dato — nei risultati relativi all'equivalente dinamico della caloria — valore diverso da quello che Joule stesso aveva dedotto dalle esperienze sul calore sviluppato per attrito: mentre questo era stato – misure inglesi — 772,6, l'altro risultava 782,5. Il fatto era di troppa importanza — e per la scienza e per la tecnica — perchè non avesse a formare oggetto d'indagini esaurienti. Onde, la *Royal Society*, nel 1870, aveva incaricato una commissione composta degli uomini più eminenti che contasse la scienza inglese — W. Thomson, Tait, Maxwell, Stewart e Joule stesso — di studiare se la causa della discrepanza fosse da ricercarsi nelle esperienze sul calore svolto per attrito, o nella unità di resistenza elettrica. Si fu quella l'occasione nella quale Joule fu condotto a fare nuove determinazioni. Le basò, — com'era naturale perchè servissero a stabilire il vero valore delle analoghe a cui si doveva estendere l'esame — su l'attrito, ma variò il modo di valutarne il lavoro: ebbe ricorso al principio della *bilancia ad attrito di liquidi* ideata — una ventina d'anni prima — da Hirn.

« Il metodo adottato, scrive egli, fu quello di far ruotare una ruota a palette entro un vaso pieno d'acqua sospeso, per trovare il calore prodotto con cotesto mezzo, misurandosi poi il lavoro sviluppato dalla forza necessaria ad impedire al vaso di ruotare e riferendo lo spazio al punto di applicazione della forza stessa ».

Da coteste misure Joule ottenne 773,369; numero il cui accordo con quello trovato poco meno che trent'anni prima — la differenza si riduce all'uno per mille — è veramente meraviglioso.

Apparecchio di Joule.

(Riproduz. di parte della Tav. 26, monog. orig. di Joulein Phil. Transact, 1878).

Leggenda espl. — Figura a destra: *a* cassa in legno, con una parete mobile a vetri; *b* albero verticale girevole mediante le manovelle *d*, *e*; *g* contatore dei giri: *f* volante; *h* calorimetro; *j*, *j* rotelle; *k*, *k* gusci di bilancia e pesi per impedire la rotazione; *wv* sopporto idraulico (non usato nelle prime 2 serie di esperienze). — Fig. a sin: *C* calorimetro per determinare la quantità di calore richiesta da *h* per riscaldarsi; *BB* cassetta di legno per mettervi *h*.

Esso — perchè riguarda numeri relativi a determinazioni che sono di un'estrema difficoltà ove si voglia eliminare ogni causa di errore — mette nella luce più bella e la grande sagacia e la squisitezza nell'arte di sperimentare dell'eminente fisico, cui l'Inghilterra decretò gli onori dell'Abbazzia di Westminster: esso però stabilisce anche la sicurezza di un principio ed il valore di un

numero che sono tra i fondamenti della scienza e dell'industria moderna.

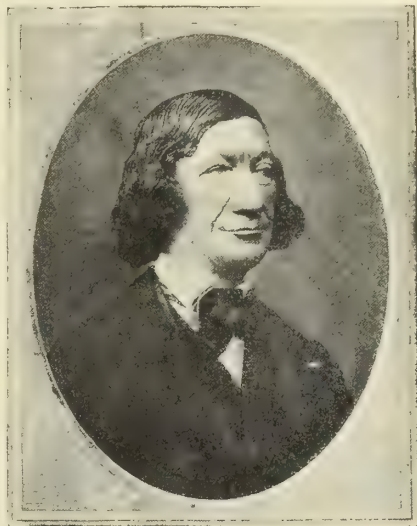
Nel lungo periodo abbracciato dagli accennati lavori di Joule, altri di primissimo ordine si andavano compiendo in uno stabilimento di filatura e tessitura, a Logelbach presso Colmar, da uno degli uomini più singolari del secolo XIX, Gustavo Adolfo Hirn; lavori da cui dovevano uscire e la conferma piena, non solo della equivalenza tra il lavoro meccanico ed il calore, ma anche delle vedute nuove su cotesta forma dell'energia, ed insieme grandi perfezionamenti nella macchina a vapore.

Gustavo Adolfo Hirn.
(Riproduz del ritratto pubblicato nelle « Mittheilungen der Naturhistorischen Gesellschaft in Colmar » nuova serie, T. 1° — per gentile concess. della Società scientifica editrice).

Non è certo di produzioni scientifiche come quella di Hirn che si può dire in poche parole: il semplice elenco delle publicazioni — da quell'articolo su la cometa del 1843 comparso in un giornale di Colmar che Schwoerer stesso (1) non potè rintracciare al *Constitution de l'Espace céleste* uscito nel 1889 — occuperebbe parecchie pagine. Nemmeno è possibile un' analisi dei soli lavori relativi alla determinazione dell' equivalente meccanico della caloria. Tanti e di tanta mole essi sono!

Due particolari però vogliono essere ricordati.

L'uno si è che quei lavori hanno per la maggior parte la prerogativa dell'essere stati compiuti, non coi mezzi consueti da laboratorio, ma su macchine industriali: a Verdet, che, visitando lo stabilimento di Logelbach, domandava di vedere gli strumenti che avevano richiamato tanto l' attenzione di tutto il mondo scientifico, Hirn rispondeva: « *Mais je ne cesse de Vous mener par mon laboratoire!* »

L'altro particolare riguarda le peripezie della monografia in cui sono i primi valori da lui trovati, occasionalmente, per l'equivalente dinamico della caloria. Presentata, il 26 febbraio 1846, da Forneyron alla *Académie des Sciences*, forse per l'arditezza e la novità delle asserzioni, non incontrò l'approvazione: Hirn fu consigliato a ritirarla. Nè ebbe essa miglior fortuna quando fu successivamente offerta alla *Royal Society* di Londra e alla *Société Industrielle de Mulhouse*. Solo per una felice resipiscenza di questa fu da essa di nuovo domandata, e, letta nella tornata del 28 giugno 1854, venne poi pubblicata — nel N. 128-129 anno 1855 del bollettino della Società — col titolo: *Études sur les principaux phénomènes que présentent les frottements médiats, et sur les diverses manières de determiner la valeur mécanique des matières employées au graissage des machines*. Codeste peripizie, dalle quali la scienza ebbe ritardato di dieci anni l'acquisto di un lavoro d'importanza capitale, fortunatamente non nocquero alla

(1) Un elenco completo degli scritti di Hirn si trova nella biografia di lui pubblicata dal dott. Faudel e dall'ing. Schwoerer — che fu segretario e collaboratore di Hirn — nelle *Mittheilungen der Naturhistorischen Gesellschaft in Colmar*, Tomo 1 del 1889 e 1890. Da quel pregevole lavoro sono tolte le poche notizie biografiche che occasionalmente ci venne fatto di dare.

tempra di Hirn, il quale pensava che « *la souffrance et le malheur* — sono parole tolte da quell'unica pagina ch'egli scrisse dell'autobiografia, a cui troppo tardi, e solo dopo lunghe e vivissime istanze, si era deciso — *sont souvent des puissants auxiliaires pour faire produire par un homme ce dont il est capable, et ce qui semble être dans sa vocation* ». E quanto ha egli prodotto, egli che — ricevuta tra le pareti domestiche nulla più che la istituzione letteraria consueta e quella nei primissimi rudimenti di fisica e chimica — non ebbe poi altra scuola che l'opificio, altro maestro che se stesso!

Che se qui, di cotesta produzione scientifica — multiforme e poderosa rivelazione di una tra le menti più robuste e geniali del secolo scorso — non ci è concesso nemmeno lo sfiorarla, non dobbiamo però passare sotto

« S'il s'élève, je l'abaisse ; s'il s'abaisse, je l'élève » (Pascal)
Être Dieu ou bête ! L'impossible, ou le néant de l'être moral ! Si haut, ou si bas ! Faut-il que l'homme opte entre de tels extrêmes ? Non. Le bon sens nous dit de rejeter un paradoxe séculaire que Pascal n'a fait que renouveler au prix de son génie et de sa raison.
L'homme n'est ni Dieu ni bête : il est simplement homme. Cet être, si frêle et si faible, qui sait, lorsqu'il le veut, s'avancer la notion de l'infini, qui est parvenu déjà à pénétrer quelques uns des mystères les plus profonds de la nature, mais qui a mis des siècles à y parvenir, cet être n'est ni Dieu ni bête. Il est un ensemble imparfait appelé, collectivement et individuellement, à se développer de père en fils jusqu'à l'infini avec une vitesse qu'il ne peut modifier en plus ou en moins sans sacrifier sa raison.
« Marche, ou sois maudit ! » lui crie une voix du fond de l'abîme.
« Marche et ne désespère jamais ! Ce que tu n'as pu faire ici-bas, tu l'achèveras ailleurs si tu en es digne ! » lui crie une voix venue du haut des cieux.
Le secret de sa destinée et de sa vraie force, il l'avait écrit de sa main sur les murs du temple de Delphes.
« Connais-toi toi-même ! » — Mesure tes forces, sache donc pour ce que tu peux ou ne peux pas ; ne refais pas aujourd'hui ce que tu as fait hier, ne tente pas de faire aujourd'hui ce que tu ne pourras faire que demain, mais ne désespère jamais. Tu seras d'autant moins imparfait que tu connaîtras mieux tes imperfections, tu t'élèveras d'autant plus au-dessus de la bête, que tu te respecteras plus toi-même.
Mais marche, si tu veux t'appeler homme !

G. A. Hirn
27.8.61

Fac-sim. di un autografo di Hirn.
(Per cortese concess. della Naturhistor Gesellschafft di Colmar).

silenzio — perchè strettamente collegato con l'argomento che c'intrattiene — quel *Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur* che Hirn presentò all'Accademia delle Scienze di Berlino in occasione di un concorso da essa

bandito, e pubblicò l'anno sucessivo — nel 1858 — a Colmar.

In esso Hirn dà conto di esperienze istituite con molti metodi diversi.

Nelle une aveva usato la *bilancia ad attrito*, già accennata a proposito delle esperienze di Joule. In essa un tamburo cavo rotante tendeva, appunto per l'attrito, a trascinare nel suo moto un cuscinetto soprastante ad esso: un peso, grande più o meno secondo l'attrito, permetteva di dare al cuscinetto una immobilità assoluta, della quale faceva fede la orizzontalità — riconoscibile con mezzo delicatissimo — di una trave gravante sul cuscinetto stesso. Dal peso impiegato e dalla velocità di rotazione del tamburo Hirn deduceva il lavoro, mentre misurava il calore svolto per attrito, sia mediante la elevazione di temperatura prodotta in una massa nota di acqua circolante nel tamburo, sia misurando la perdita di calore del sistema quando essa uguagliava la produzione — il che veniva accertato dal rimanere costante la temperatura dell'apparecchio — sia, infine, valendosi della durata occorrente a produrre raffreddamento di un grado centesimale nel sistema, riscaldato preventivamente a temperatura di molto superiore a quella cui lo avrebbe portato l'attrito, e abbandonato poi a se stesso durante il movimento.

La bilancia ad attrito, di Hirn.
(Riproduz. dalla mon. origin. tav. 203 del Bullet. de la Soc. Ind de Mulhouse, N. 128-129, anno 1855).
Legg. esplic. — *T* tamburo cavo girante; *E* cuscinetto tendente a ruotare per attrito contro il tamburo, impeditone dai pesi *M*; *L* trave la cui orizzontalità faceva fede della immobilità di *E*; *C* termometro.

In altre ebbe ricorso alla perforazione di masse metalliche, misurando insieme il lavoro speso, e — mediante il riscaldamento di acqua avviluppante trapano e pezzo perforato — la quantità del calore prodotto.

Ma sopra tutte, di quelle prime serie, vogliono essere ricordate quelle eseguite su la motrice a vapore e sul corpo umano.

Lo stabilimento di Logelbach possedeva due grandi motrici, una delle quali — era tra le prime macchine che Watt avesse venduto sul continente — aveva costituito oggetto di un interesse speciale per Hirn ancora fanciullo, quando — tra il 1822 e il 1824 — era stata montata. Furono esse — differenti, giacchè quella di Watt era ad un solo cilindro, mentre l'altra, di Wolf, era a due — gli apparecchi su cui il grande alsaziano sottopose a misura il fatto che, mentre all'esterno della macchina si compie un lavoro, all'interno scompare una certa quantità di calore, poichè — l'esperienza lo prova — quella che il vapore riporta al condensatore è minore di quella che esso ha ricevuto nella caldaia, e la differenza solo in piccola parte va spesa nel riscaldare gli organi per i quali

il vapore è passato. La correlazione tra i due elementi, lavoro e calore emerge nella maniera più luminosa da quelle « esperienze difficili, nota il Verdet, ben più difficili di quelle di Joule; » da quelle misure istituite... « non su le macchine in miniatura di una collezione scientifica, diremo ancora col Verdet, ma su macchine di 100 e 200 cavalli » col duplice vantaggio « di mettere di punto in bianco da una banda tutte le obbiezioni che i pratici si divertono nel sollevare contro quelle che chiamano esperienze da gabinetto » e di attenuare « per la grande dimensione degli apparecchi e la lunga durata delle prove, l'influenza delle mille perturbazioni accidentali le quali sopravvengono sempre in una ricerca d'indole nuova, ma finiscono per compensarsi quando si ripetano un gran numero di volte, con eguali probabilità d'influire ora in un senso, ora nell'opposto. »

Quanto alle altre sul corpo umano, ascoltiamone da Hirn stesso lo scopo. « Senza paragonare nemmeno il più lontanamemente gli esseri viventi a delle semplici macchine organizzate come vogliono i materialisti, è tuttavia impossibile di schierarsi completamente della parte di certi dinamisti troppo assoluti, i quali pensano che il corpo umano, per esempio, è governato da leggi che non hanno alcunchè di comune con quelle del mondo fisico . . . . Il corpo vivente è un mezzo in cui si operano delle reazioni chimiche di ogni genere, in cui si sviluppano calore, luce, elettricità . . . Si poteva dunque domandarsi se il corpo umano, venendo per il fatto della nostra volontà ad agire come un vero motore, non si comporti per avventura come alcuni dei nostri motori in cui la forza motrice è dovuta all'azione . . . . del calorico . . . . e se la somma del calorico, per esempio, che producono nel nostro corpo le reazioni chimiche non sia, quando siamo in riposo, diversa da quella che è quando lavoriamo, solleviamo dei carichi . . . . Tale è la questione che mi sono posto e che ho cercato di risolvere meglio che io potessi » Le misure dovevano comprendere quantità di calore, quantità di lavoro quando l'individuo funzionava come motore, e finalmente analisi dell' aria inspirata ed espirata ; analisi intesa a determinare la parte che nei fenomeni spettava alle azioni chimiche della respirazione, la funzione su la quale, per una serie di considerazioni in cui si vede tutta la superiorità di Hirn nel ridurre alla maggiore semplicità le questioni più complesse, egli aveva ritenuto che bastasse portare l' esame.

Apparecchio di Hirn per misur. il cal. svolto nella perforaz. dei metalli.

Riproduz. della Tav. II. del ediz. origin. del « Recherches sur l'équiv. méc. de la chal. » Colmar, 1858.

Leggenda esplic. — *aààa* recipiente calorimetrico per acqua ; *FF* albero di trapano ; *f* punta perforante ; *ooòò* massa di ferro da perf. saldata al recipiente ; *ll* leva fissa al recip. e mantenuta immob. med. l'az. del peso *B*.

In una cameretta a pareti d'abete — della capacità di poco meno che due metri cubi e mezzo in una prima serie di esperienze , maggiore in una serie successiva, ermeticamente chiusa e collocata in un ambiente a temperatura

sensibilmente costante — era una ruota a palette — una vera scala mobile ad asse orizzontale — fatta girare con moto regolare e continuo da un motore lontano, in modo che la persona posta nella cameretta — « l'uomo, dice Hirn, era il solo vertebrato che potesse essere sottomesso all'esperimento », giacchè « occorreva nell'individuo una certa intelligenza e la coscienza necessaria anche in chi non deve concorrere che come parte passiva » — per mantenersi all'estremo del diametro orizzontale di quella ruota era obbligata — dati lo spazio nel quale soltanto poteva restare ed il senso della rotazione — a marciare con una velocità ascendente uguale e contraria a quella della ruota stessa, compiendo così il lavoro di sollevare — in un tempo determinato e ad un'altezza conosciuta — il proprio peso. Tubulature opportune terminanti alla bocca ed al naso e facenti capo a due gazometri servivano l'una alla inspirazione e l'altra alla espirazione, cosicchè — per valerci della frase di Hirn — la persona, coi suoi polmoni, agiva tra i due gazometri come una vera pompa aspirante e premente. Si fu con siffatta disposizione, la cui realizzazione domandava una moltidudine di cautele ed implicava gravi difficoltà, che Hirn potè portare alla fisica ed alla fisiologia — forse più ancora che alla meccanica — il contributo di fatti ed osservazioni di un grande interesse.

Esperienze di Hirn sul rapporto tra il lav. mecc. di cui é capace l'uomo, ed il calore che si sviluppa nel suo corpo.
(Riprod. della Tav. III dell'opera Recherches, ecc., ediz. orig).
Legg. espl.: — *PP* camera in cui veniva chiuso l'uomo assoggettato all'osper.; *pp* porta, *R*, ruota a palette mantenuta in moto da apposito motore e su le cui paletie l'uomo doveva salire compiendo il lav. di sollev. il proprio corpo. *tt* tubo adduttore d'aria per la respir. *s'* tubo asportatore dei prod. della espir. contenente uu termom; *f* palloncino destinato a racc. l'umidità conten. nei gas espir.

A tutte coteste misure bisogna ancora aggiungere la lunga serie delle altre che egli istituì dappoi — e di cui dà conto nella terza edizione, pubblicata nel 1875, del suo *Exposition analytique et expérimentale de la Théorie Mécanique de la Chaleur* — basate su l'attrito dell'acqua, sull'efflusso di questa sotto forti pressioni, su lo schiacciamento del piombo sotto colpi d'ariete e sul raffreddamento prodotto dall'espansione dell'aria.

Crediamo di essere nel vero dicendo che la storia della fisica non registra forse altro esempio di una serie altrettanto numerosa di determinazioni improntate a tanta varietà di metodi ed eseguite da un medesimo sperimentatore su una sola questione. Che se, di cotesta opera così vasta e multiforme, fu giocoforza il toccare con semplici accenni i più laconici senza poterne esporre nemmeno in modo sintetico i piani di attuazione ed i risultati, crediamo tuttavia avere detto quanto valga a mostrare non solo come imponente sia il contributo dell'esperienza alle basi della teoria dinamica del calore, ma anche quale posto eminente spetti ad Hirn, figura veramente nobilissima di uomo e di filosofo.

Con i lavori di Hirn potrebbe chiudersi quanto — in relazione al con-

cetto fondamentale della termodinamica ed all'equivalente dinamico della caloria — occorreva esporre in questa introduzione. Ma un'aggiunta è necessaria; l'avvertire, cioè, che se — come già fu accennato — in ogni ramo della fisica i principi della nuova scienza trovano la loro applicazione, qualunque branca di essa offre, a sua volta, esempio di metodi con cui le leggi della termodinamica possono essere controllate e con cui è dato giungere alla determinazione dell'equivalente dinamico della caloria.

Valga per tutti l'esempio offerto dagli studi di Edlund. Lo scienziato svedese nel novembre 1860 aveva comunicato all'Accademia delle Scienze di Stoccolma un lavoro molto interessante su la variazione di temperatura che si produce nei corpi quando con mezzi meccanici se ne faccia variare il volume. Aveva operato su fili — lunghi circa sessanta centimetri — di acciaio, argento, argentana, ottone, platino, bronzo di alluminio, i quali — disposti verticalmente e fissati per l'estremo superiore ad una robusta trave di quercia — potevano essere allungati con l'allontanare un peso opportuno dal fulcro di una leva ben contrappesata, e potevano anche — purchè si facesse muovere il peso verso il fulcro, o si togliesse una caviglia di collegamento tra il filo e la leva — venire messi nella condizione di riprendere — tanto gradatamente quanto d'un tratto, tanto compiendo il lavoro di sollevare il peso tenditore quanto senza compire cotesto lavoro — il volume primitivo. Edlund — col tenere conto della grandezza del peso e dello spostamento verticale che questo subiva — aveva misurato in quelle esperienze il lavoro speso nell'allungare il filo, o quello da esso compiuto nell'accorciarsi — sollevando il peso —; e — giovandosi del fatto che ogni variazione di temperatura in un punto di un corpo conduttore, offrente delle inugualianze nella costituzione chimica o nello stato fisico, determina una corrente elettrica — aveva misurato i mutamenti di temperatura del filo mediante le correnti elettriche da essi provocate in una pinzetta costituita da un cristallo di antimonio e da uno di bismuto abbraccianti il filo e comunicanti con un galvanometro. In quelle esperienze Edlund aveva potuto stabilire nettamente — lo diremo con le sue stesse parole — che « se un metallo viene dilatato senza che si oltrepassi il limite di elasticità, esso subisce un raffreddamento proporzionale alla forza meccanica con la quale la dilatazione è prodotta; se il metallo ritorna al volume primitivo, effettuando un lavoro meccanico *esterno* uguale a quello speso per dilatarlo, subisce un riscaldamento uguale al raffreddamento che lo

Esperienze di Hirn su l'equiv. dinam. della cal. determ. med. schiacciam. del piombo.
(Riprod. della fig. 4 dell'op. orig. « Exposition analytique et experimentale de la Théorie Méc. de la chal.).

Legg. espl. — *AA*, ariete costituito da un albero in ferro fuc. pes. 350 kg. *M* prisma pes. 941 kg. in grès dei Vosgi destinato a fare da incudine, e con la testa *B* in ferro. *D* piombo destinato allo schiacciamento; 1,2,3,4,5,6 pezzi di piombo di diverse forme, forati per potervi introd. acqua ed un termom. appena il pezzo aveva ricev. il colpo.

ha preceduto.... e se al contrario il metallo ritorna al volume primitivo senza compire lavoro meccanico esterno, si riscalda più che non nel caso precedente, e la differenza dei due riscaldamenti è proporzionale al lavoro meccanico esterno che in uno dei casi il metallo effettua contemporaneamente al prodursi della contrazione ». La conversione mutua del lavoro in calore e di questo in quello era messa, da quelle esperienze — delicatissime — nella maggiore evidenza. Qualche anno più tardi — nel 1865 — Edlund, portando qualche modificazione in alcuni particolari, tra l'altro nella conformazione della pinza termoelettrica — costituita però sempre dai due cristalli di bismuto e di antimonio — riusciva a stabilire come da quelle variazioni di temperatura messe a riscontro col lavoro meccanico corrispondente, risultasse per l'equivalente dinamico della caloria il numero di 434 chilogrammetri. Ora, il valore che la scienza ritiene da assegnarsi a cotesto rapporto è 427; ritiene cioè che alla quantità di calore occorrente ad elevare di un grado la temperatura di un chilogrammo di acqua distillata corrisponda il lavoro del sollevare 427 chilogrammi all'altezza di un metro. Il numero trovato da Edlund sottoponendo a misura cotesto fenomeno tanto comune dell'allungarsi di un filo metallico per azioni meccaniche e del suo ritorno alle dimensioni primitive, è, evidentemente, abbastanza prossimo al vero.

Esperienze di Edlund su le variaz. di temp. nelle variaz. di vol. dei corpi prodotte con mezzi mecc.
Riproduz. dalla Tav. II della monogr. orig. in « Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar » Stockholm, 1862).

Leggenda espl. — *F* filo metall. teso tra *a* e la pinza *f*, *c* asta d'ottone destinata col peso *d* e la leva *a* ad allungare il filo *F*, facendola scorrere da *f* verso *a'*, *g* specchio destinato a misurare con precisione l'inclinaz. della leva *a'*. *BC* custodia aperta, *p* pinzetta termoelettrica a cristalli di bismuto ed antimonio, abbraccianti il filo, rappresentata in maggiore scala al piede della fig. e destinata a misurare le variazioni di temperatura del filo mediante le correnti elettriche da esse generate nella coppia bismuto-antimonio).

Basti per ora cotesto esempio a mostrare come il fatto più comune possa fornire argomenti di verità per i principi della teoria dinamica del calore.

Della importanza speculativa della nuova scienza già ci è occorso dire: essa non ha confini. Ma la nuova scienza è già stata operatrice di miracoli pur nel campo pratico, nel campo delle industrie.

Nella primavera dell'anno — il 1893 — in cui l'America celebrava il quarto centenario della sua scoperta, solcavano per la prima volta l'Atlantico il *Campania* ed il *Lucania* recanti ciascuno due macchine, ognuna della potenza di 15000 cavalli: l'ordinazione di quei due colossi era stata fatta, alla *Fairfield Shipbuilding and Engineering Co.* di Glascow, solo nell'agosto del 1891. E alla *World's Fair* di Chicago vicino al treno di lusso, in cui il viaggiatore può passare i giorni conducendo la vita come in un grande albergo, stavano le prime berline che il vapore aveva trascinato — per la *Mohavai and Hudson Railroad*, nel luglio 1832 — sul suo territorio; vicino alla locomotiva meravigliosa, divoratrice di carbone e di terreno, stava la lenta macchina cui bastava la scorta di quante legna possono contenere due piccoli tini.

Nulla, meglio che il breve tempo in cui poterono essere costruiti i due superbi bastimenti ed il contrasto fra quei treni e tra quelle locomotive valeva a dire nel modo più eloquente il cammino fatto in poco più di sessanta anni. Ebbene, quel cammino non sarebbe stato percorso se l'ingegno umano non si fosse reso padrone dei rapporti che la natura ha stabilito fra il lavoro meccanico ed il calore.

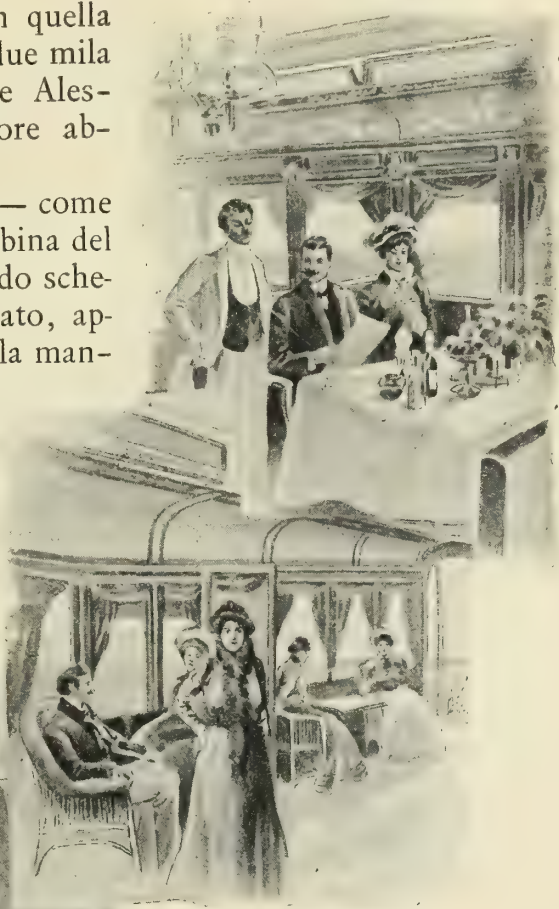
Oggi stesso assistiamo ad una evoluzione della macchina a vapore. Alla Esposizione di Chicago i visitatori, dopo avere ammirato le motrici della potenza di migliaia di cavalli, si arrestavano meravigliati davanti ad una piccola macchina che manteneva in azione una dinamo molto più grossa della motrice.

Pinza termoelettrica usata da Edlund nella seconda serie di esperienze.
Riproduz. dalla monog. orig. in « Öfversigt ecc. » Stockholm 1866, pag. 298).

Era una turbina del d.r de-Laval di Stoccolma. Da quell'epoca la turbina de-Laval è entrata nel campo pratico, e nel campo pratico vanno entrando trionfalmente quelle del Parson. Sono macchine nelle quali la forza viva delle particelle del vapore è utilizzata nel modo i più razionale, e che hanno perciò potuto ricevere delle dimensioni enormemente ridotte. Una delle turbine de-Laval, da 300 cavalli impiantata nel 1895 alla Centrale della Società Edison posta alla 12a strada in New York, con le due dinamo che ne ricevono la potenza, costituisce un gruppo lungo quattro metri, profondo meno di due, alto poco più che uno; ed elevando la pressione del vapore, su un'area rettangolare di 4 metri per 6 de-Laval è riuscito ad impiantare una completa stazione generatrice della potenza di 100 cavalli, comprendente generatore del vapore, pompa di alimentazione, condensatore, tur-

bina e dinamo: nè occorre dire come il semplice confronto con la statura del meccanico che la governa basti perchè dalla fotografia di una Parson si rilevi con tutta evidenza in quali misure la scienza e la tecnica possano oggi contenere dei motori di una potenza enorme.

Con la turbina del Parson la meccanica ha fatto entrare nella pratica unavecchia macchina del Branca che non era ma uscita dal numero delle curiosità, e con quella del de-Laval ha rimesso in onore — a due mila anni di distanza — l' eolipila di Erone Alessandrino, la prima macchina cui il vapore abbia impresso il movimento.

L'eolipila e la turbina del Parson — come anche la macchina del Branca e la turbina del De-Laval — ove si ponga mente al modo schematico con cui il vapore viene utilizzato, appaiono meccanismi affini: li affratella la mancanza dell' embolo che caratterizza tutti gli altri tipi di macchine a vapore; li affratella il modo con cui il vapore agisce — comunicazione diretta della sua forza viva; — ed eolipila e turbina sono l' opera geniale della osservazione. Ma tra esse è un abisso. Nella prima nulla all' infuori della concezione felice suggerita dalla superficie del fenomeno, nell'altra invece il frutto dello studio profondo che cerca di penetrare — ed almeno in parte riesce a farlo — i misteri della natura. È la termodinamica che ha insegnato come il rendimento di una macchina a vapore sia tanto più elevato quanto più alta è la temperatura; è dessa che ha additato nettamente come il perfezionamento maggiore da apportarsi a cotesto fattore tanto importante di benessere e di progresso, a cotesto organo essenziale della nostra vita industriale, debba consistere nel disporlo in modo che sia possibile farlo agire con pressioni elevate — conseguenza necessaria delle elevate temperature —. Cotesto ha insegnato la termodinamica; e cotesti insegnamenti hanno tolto all'empirismo la costruzione della macchina a vapore per confidarlo ad una guida illuminata e sicura.

In un treno americano di lusso.
(Da fotogr. eseg. su treni della Pennsylvania R. R).

Basterebbe ciò a mostrare quanto feconda diventi l'esperienza allora che se ne impossessa il filosofo, a cui — dai fenomeni per essa dimostrati — è dato assurgere alle indagini del loro meccanismo e delle loro cause immediate.

Certo i fatti del calore — nel loro intimo — hanno ancora dei grandi

La locomotiva *De-Witt Clinton* rimorchiante il primo treno ferroviario americano nel luglio 1832.
(Riproduzione diretta di una stampa dell'epoca).

segreti, e l'ignoto supera quel che sappiamo. Se più si avvicini al vero una concezione analoga a quella di Redtembacher, per cui dei fatti del calore sarebbe causa il moto di dilatazione e di contrazione dell' atmosfera eterea avviluppante atomi e molecole e costituente con essi la *dinamide*, o se avesse maggior ragione il Clausius di scrivere che il calore è « come un movimento degli atomi ponderabili, movimento al quale l' etere racchiuso nei corpi *può anche* partecipare », oggi — pensiamo — nessuno potrebbe dire. Ma un fatto è acquisito alla scienza: il calore è movimento.

La sicurezza di questo fatto e la conoscenza del rapporto tra il lavoro meccanico e la quantità del calore hanno bastato — gioverà ripeterlo come sintesi di quel che siamo andati qui esponendo — perchè, non solo lo studio della macchina a vapore portasse in breve volgere di tempo ai progressi cui or ora abbiamo accennato, ma perchè anche — in un certo senso — tutte le scienze fisiche prendessero, con immenso profitto, un nuovo indirizzo.

E se, lasciando il campo stretto della scienza, volessimo passare a considerare, delle nuove conquiste, quel che possono essere in tutt'altro ordine, potremmo dire che per esse si aprono nuovi, luminosi orizzonti alla stessa poesia.

Ingenuità nei popoli primitivi e mancanza di cognizioni in quelli dell'antichità che pure assursero a grado relativamente alto di civiltà, avevano — su i fenomeni più appariscenti della natura — intessuto leggende e miti, quali vivono pur oggi là dove ancora la civiltà non ha esteso il suo dominio; e poesia era in quelle leggende e in quei miti. Così per i Romani era in ogni cometa la glorificazione dello spirito di un grande: vedevano i Germani nell'arcobaleno il ponte per cui salivano al cielo gli eroi: il bagliore della stella filante dinotava ai Lituani lo spegnersi di una esistenza; quella esi-

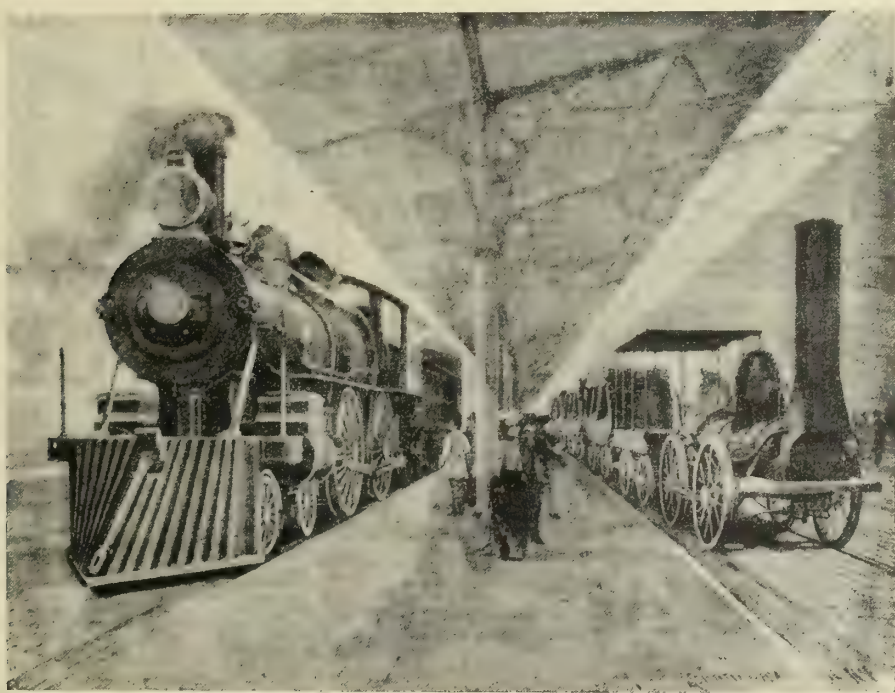
stenza al cui schiudersi Werpeja aveva filato il filo della vita, terminante nella stella, che — allo spezzarsi di esso — cadeva, impallidiva e si spegneva.

Lo studio della natura aveva demolito miti e leggende e, con essi, la poesia che ne spirava. Toccava alla scienza nuova, mettendo i fatti nella loro luce vera, farne di nuovo fonti di poesia. Quale onda di poesia scorrerebbe dalle pagine di colui che sapesse rendere integro e vivo alla fantasia lo spettacolo offerto dalla materia e dall'etere nei moti invisibili cui dobbiamo la magnificenza delle code onde si ornano le comete, gli splendori dell'arcobaleno; dalle pagine di colui che sapesse rendere integro e vivo alla fantasia lo spettacolo offerto dalle innumerabili particelle di uno di quei minuscoli mondi vaganti per l'orbita immensa quando si accende nella lotta contro l'atmosfera rada! Quanta poesia sarebbe in quelle pagine!

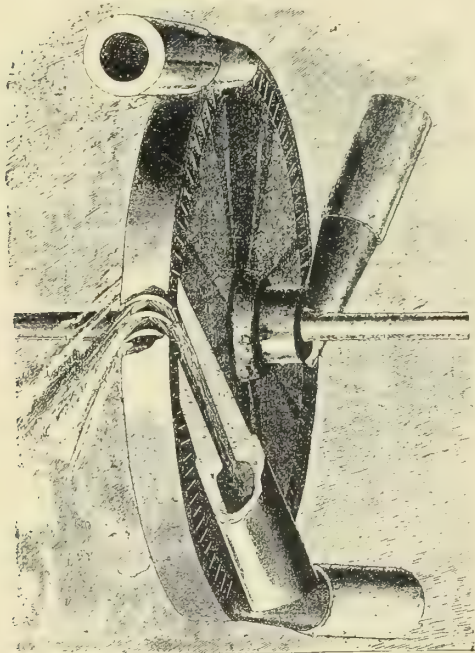
E come diversa dalla poesia del passato! Nell'una il caduco della favola; nell'altra la partecipazione all'eterno, gloriosa prerogativa del vero.

III

Le ondulazioni.

Di altri fatti ancora — a semplificazione di quello che si dovrà esporre in seguito — è necessario dire in queste pagine d'introduzione, e riguardano la teoria delle ondulazioni, base di studi tra i più geniali, divenuta fonte di

Locomotive antiche e locomotive moderne.

applicazioni — basterebbe citare quelle di Arago alle analisi industriali, di Lippmann alla fotografia dei colori, e le altre ben note di Roentgen e di Mar-

coni —di prima importanza nel campo della pratica. Escogitata e studiata per i fenomeni della luce da Cartesio, Grimaldi, Huyghens prima del secolo XIX, cotesta teoria ebbe — sempre per la luce — sviluppo e conferme che la posero su le più solide basi già fino dagli albori dello stesso secolo per opera di Young, Malus e Fresnel; in progresso di altri, tra cui Fizeau e Foucault. Le esperienze di Melloni la estesero al calore raggiante, le concezioni di Maxwell e le esperienze di Hertz all'energia elettromagnetica: così essa abbraccia oggi l'energia raggiante sotto tutte le forme, di elettricità, di calore, di luce, di attività chimica.

Turbina De Lava. Tipo da venti cavalli, 1/2 del vero.

Ammettono, secondo essa, i fisici che per l'intero universo è sparsa una sostanza sottilissima — incomparabilmente più sottile che il più sottile gas portato al grado massimo di rarefazione — senza peso, perfettamente elastica. È l'etere. In esso, come i pulviscoli nell'atmosfera nostra, si muovono i mondi del firmamento, e non v'ha punto — per quanto interno — di corpo — per quanto compatto — in cui, se non v'é materia, non sia l'etere. È l'etere il mezzo in cui si trasmette l'energia raggiante, si chiami essa elettricità, calore, luce: è esso il mezzo per cui l'umile ago magnetico si commuove per le tempeste che agitano il Sole, e per il quale alla Terra giungono i raggi che ne sono la vita; il mezzo per cui il piccolo cristallo dispiega all'occhio nostro la tavolozza inimitabile della natura, e il firmamento rivela all'anima nostra i suoi splendori; il mezzo per cui ogni atomo porta la sua influenza in ogni punto dell'universo, e l'universo intero concorre a mantenerne incessante il moto.

Cotesta trasmissione dei moti — ammettono i fisici — avviene per onde. Causa prima dell'energia raggiante, le vibrazioni delle particelle estreme dei corpi; vibrazioni in cui sarebbe difficile dire se più sia meravigliosa la regolarità per la quale si assomigliano alle oscillazioni del pendolo, o la rapidità — per la quale in un secondo possono essere tante quanti sono i secondi necessari a formare centinaia di migliaia di secoli.

Sono esse che, scuotendo l'etere, vi determinano il movimento ondulatorio. — Come alla superficie di un lago dallo scuotimento di un punto ha origine un'onda, che, urtando l'acqua vicina, ne produce un'altra che a sua volta un'altra ne genera; e in breve, di onda in onda, il movimento si allarga, e n'è commossa la superficie intera dell'acqua; non altrimenti tutt'intorno alle particelle vibranti, sotto l'impulso di ciascuna vibrazione, un fremito di vita si diffonde in tutti sensi per l'etere. La vibrazione segue senza posa alla vibrazione, e nell'etere l'onda incalza l'onda, e il moto si va pro-

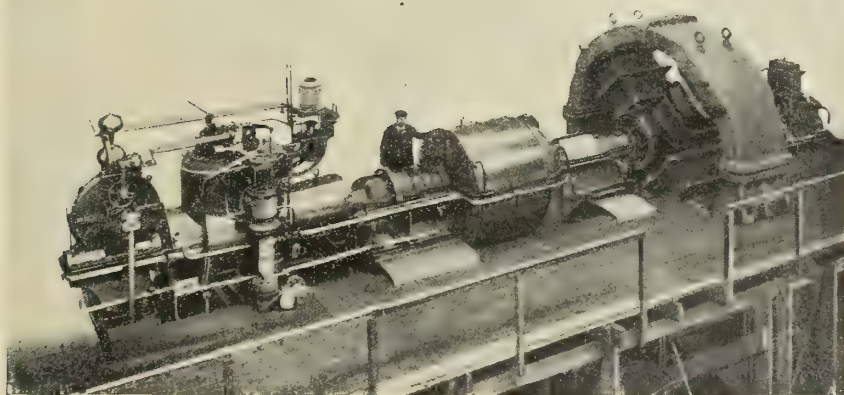
pagando — con rapidità superata solo da quella con cui il pensiero si spinge fra gli abissi più lontani dell'universo — in maniera tanto meravigliosa, che basterebbe a rendere ragione della perfezione con cui si trasmette l'energia, degli splendori ineffabili coi quali natura ha ammantato i fenomeni della luce.

E come, se da punti diversi della superficie di un liquido hanno origine diversi sistemi di onde, ciascuno si propaga con la stessa regolarità con cui si propagherebbe se fosse solo, così avviene delle onde dell' etere. Ogni punto della scintilla elettrica, ogni punto che iraggia calore, ogni punto che noi vediamo, è — per il fatto stesso che vi si compie — centro di un particolare sistema di onde; e i milioni di milioni di onde — provenienti dai milioni di milioni di punti che irraggiano elettricità, calore, luce, attività chimica — s'incontrano, si intersecano con velocità che la mente umana non arriva a concepire, ma conservando ciascuno la propria individualità.

Sono tanti — quei milioni di sistemi di onde — che il numero loro

Più che 'l doppiar degli scacchi s'immilla (1),

ma ogni onda si propaga come se l'etere fosse stato creato solo per essa.

Nel propagarsi del moto ondoso delle acque non è, di queste, altro movimento che quello verticale dell' alzarsi quando va giungendo la cresta e dell'abbassarsi quando questa si allontana per dar luogo alla depressione: ove non fossero le correnti marine, l'albero strappato dal Mississipi alle vergini foreste non si allontanerebbe dal luogo ove la violenza del fiume lo ha trascinato e spinto. In quel moto ondoso l'acqua rimane stazionaria; la particella

Turbina a vapore, tipo Parson, con dinamo della potenza fino a 2000 cavalli, impiantata nella Centrale di Elberfeld dalla ditta Brown Boveri di Baden.
(Da pubblicaz. della Ditta costruttrice).

di essa non fa che salire e scendere — vibrare — verticalmente: il propagarsi di esso è unicamente trasmettersi di una forma, di una deformazione di superficie piana, non è muoversi di materia « dal centro al cerchio ».

Così avviene dell'etere nella trasmissione delle vibrazioni.

(1) Paradiso, Canto XXVIII.

Ogni particella riceve dalla vicina l'urto, e, mentre entra in vibrazione — senza che avvenga di essa spostamento alcuno nella direzione dell'urto — lo trasmette alla successiva.

È il fatto di cui il più elegante espositore che abbia avuto la fisica nel secolo scorso, il Tyndall, nelle sue celebri conferenze dava l'idea proiettando su uno schermo — mediante una lente — una serie di punti brillanti ottenuti col far passare un piccolo fascio di raggi luminosi intensi attraverso una finestrella praticata in un diaframma opaco, mentre davanti ad esso era in azione una ruota opaca per tutto tranne che secondo una opportuna curva ondulata tracciata giro giro presso il contorno. Si vedeva così il moto ondulatorio propagarsi, avanzarsi, su lo schermo, mentre ciascun punto brillante non faceva se non delle escursioni pendolari di va e vieni in direzione perpendicolare a quella del movimento ondoso.

FIGVRA XXV

La macchina a vapore di Giovanni Branca. (Riproduz. med. fotogr. dall' ediz. orig. dell' opera: « Le Macchine, Volume novo et di molto artificio, ecc. del signor Giovanni Branca. . Roma 1629 »).

Implicitamente — con ciò — abbiamo detto di un' altra particolarità molto importante delle onde dell'etere; quella dell'esser la vibrazione perpendicolare alla direzione nella quale si trasmette il movimento, direzione che sogliamo chiamare *raggio*. Come la particella dell' acqua si alza e si abbassa nella trasmissione del moto ondoso, come — nell' esperimento celebre del Marianini — la trottola *dormente* su una tavoletta orizzontale, ove la tavoletta s'inclini all'orizzonte — anzi che scendere per la china — devia lateralmente; così le particelle dell'etere, urtate secondo una direzione — quella del raggio — vibrano in una delle infinite direzioni perpendicolari ad essa.

Abbiamo ricorso all'immagine del moto ondoso delle acque, e in realtà essa può aiutare la nostra fantasia. Ma quante differenze tra esso e il moto dell'etere!

Una, sopra tutte, importa il notare tosto: il primo è superficiale, si produce — si direbbe quasi — in un piano; l'altro invece si propaga a destra, a sinistra, verso l'alto, verso il basso, in ogni direzione tutt'all'intorno del centro di scuotimento, così che le onde, nel vuoto, nell'aria, nell'acqua, nei mezzi omogenei non cristalizzati, riescono sferiche, ed ove — per essere diversa in diverse direzioni la elasticità dell' etere — non è consentita la sfericità della forma, esse divengono ellissoidali, od assumono altre forme; sempre però sono — ci si conceda l'espressione — a tre dimensioni.

Cotesta sfericità — a semplificare il discorso lo riferiremo ad una forma determinata, alla più semplice, la sferica — rende il concetto dell'onda eterea

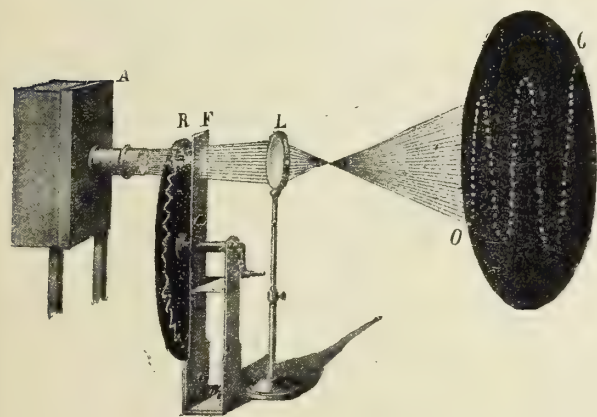
ben più complesso che non sia quando si tratta dell' acqua, in cui il fenomeno apparente è unicamente il deformarsi di una superficie — la orizzontale.

Tuttavia la considerazione dell'onda dell' acqua può giovare a chiarire il concetto della eterea.

L'elegante trasmettersi della forma flessuosa della prima si riduce per ogni particella della superficie ad una successione periodica e simmetrica di vicende; qualunque istante segna per una particella una delle mille fasi per le quali va passando mentre, abbandonato il livello normale, con alterna vicenda si estolle di tutte le altre regina, e scende per essere — a sua volta, durante un attimo — dominata da tutte. E se alla prima onda un'altra ne segue, poi un'altra e un'altra ancora, delle serie di particelle formanti il vago profilo di ciascuna può ripetersi quello che il Poeta diceva delle pecorelle uscenti dal chiuso; una identica successione di vicende, una sola legge, tutte le governa, e — nel profilo delle onde cui riescono trastullo i maggiori colossi che l' uomo abbia spinto su le acque, come in quello delle onde microscopiche che la larva della zanzara suscita quando affiora per chiedere all' aria la continuazione dell'effimera vita — una stessa distanza separa una qualunque particella di una qualunque onda dalla particella della successiva che nel medesimo istante si trova nella medesima fase; è la lunghezza dell'onda: una distanza costante, — la metà della lunghezza dell'onda, — separa una qualunque particella di una qualunque onda da quella della stessa onda o della vicina che nel medesimo istante è invece nella opposta fase.

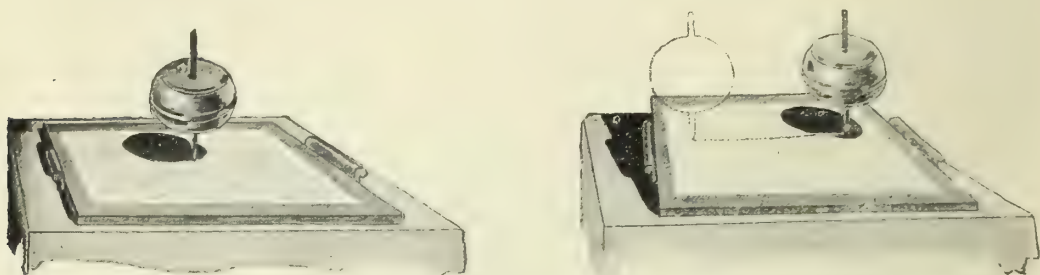
L'eolipila di Erone Alessandrino
(Da fotogr. del fol. 162, r°., codice greco A. 91 superficie 3° membranacea, dell'Ambrosiana di Milano)

Esperienza di Tyndall.
La propagazione delle onde luminose.
Legg. espl. — *A* edicola per lamp. elett.; *F* schermo opaco con fessura: *R* disco opaco con curva diafana; *L* lente di proiez.; *OO* immagini di onde trasversali.

Non altrimenti avviene nel moto dell' etere.

Nell'onda, che — con la regolarità delle forme più pure della geometria — suscita il sassolino cadente nello stagno tranquillo, la più perfetta linea, il cerchio, unisce giro giro tutte le particelle, che in un medesimo istante si trovano in una medesima fase; l'onda è un sistema di cerchi non numerati, che, concentrici sempre, sempre orizzontali, vibrano ritmicamente in direzione verticale mentre creano nella fantasia nostra la illusione che si dilatino, si dilatino, si dilatino sempre.

Nelle onde dell'etere, la superficie sferica si sostituisce al cerchio, e l'onda

— nella direzione del raggio, spessa quanta corre distanza tra una particella e la successiva che nel medesimo istante si trova nella medesima fase — l'onda, diciamo, è il meraviglioso vibrare di una infinità di superficie di sfera.

In ciascuna superficie tutte le particelle dell' etere sono in un medesimo

L'esperimento del Mariannini.

istante nella medesima fase e tutte mutano di fase ad un tempo; per tutte si ripete il medesimo ciclo, e nessuna si contrae o si espande, mentre pure alla fantasia — ove l'occhio giungesse ad esse — darebbero l' illusione di un dilatarsi incessante, rapido così che un cinquantesimo di secondo basterebbe a fare di un punto una superficie estesa quasi quanto la Terra. Al linguaggio preciso e — si direbbe quasi — onnipotente del calcolo è concesso esprimere in modo evidente, conciso ed esatto cotesto fatto; fatto universale nello spazio e nel tempo: al linguaggio comune è negato il farlo.

Noi possiamo ben dire che nelle superfici estreme di un'onda le condizioni delle particelle sono identiche nel medesimo istante; che nella superficie intermedia e da esse equidistante la fase è opposta a quella che è nelle estreme; che in una mezza onda, in un momento qualunque, accade l'opposto di quel che avviene nella mezza onda che l'avviluppa e nella mezza che ne è avviluppata; che nella oscillazione della particella eterea la distanza massima a cui giunge è la stessa da ambe le parti della posizione che dovremmo dire di quiete, se quiete per l'etere esistesse mai; possiamo dire che ad ogni vibrazione della particella del corpo da cui s' irraggia l'energia corrisponde un'onda nell'etere; che, per conseguenza, il sapere la distanza a cui il moto ondulatorio giunge in un secondo ed il conoscere la lunghezza di un'onda ci consente — col semplice dividere il primo numero per l'altro — di assegnare quello delle onde generate e quindi delle vibrazioni del corpo raggiante; tutto cotesto noi possiamo dire; noi possiamo, in una parola, analizzare il fenomeno: precisarne l'andamento in modo sintetico — col linguaggio ordinario — non mai. Il far questo — come fu detto — è privilegio del calcolo; del calcolo che con pochi simboli, in poche equazioni, può nella maniera più rigorosa racchiudere insieme e le leggi generali ed i particolari più minuti, abbracciare quanti sono fatti conosciuti e racchiudere potenzialmente nelle equazioni tutto cui ancora non sono giunti raziocinio ed esperienza.

Del moto ondulatorio non è compito nostro l'esporre, se non quanto è strettamente indispensabile a comprendere le applicazioni di cui esso fu fecondo nel secolo scorso: è poco, ma è più di quel che abbiamo detto fin qui.

Anzitutto ne occorre ancora richiamare il principio di Huyghens. Per quanto appaia complesso il fenomeno quale abbiamo procurato di schizzarlo, esso dev'esserlo ben di più. Il moto di ciascuna particella dell'etere non può essere semplicemente l'effetto dell'azione della particella vicina.

Poichè ognuna delle particelle di un'onda vibra, per ciò stesso dev'essere essa medesima un centro di scuotimento. Tutt'intorno ad essa s'irradia il moto, ed ogni particella eterea di quella che concepiamo come una superficie d'onda è a sua volta centro di un sistema di onde; e ognuna trasmette moto alle particelle delle superficie successive, così che il moto di queste è il risultato degli impulsi che a ciascuna di esse imprimono innumerabili altre: la superficie di un'onda viene ad essere — direbbe un geometra — la *inviluppante* di altre, in numero che saremmo tentati di chiamare infinito.

« Le vibrazioni di un'onda luminosa — così Fresnel — in ognuno dei suoi punti possono considerarsi come la somma dei moti elementari che vi farebbero giungere in un medesimo istante, agendo isolatamente, tutte le parti di quest'onda considerata in una qualunque delle sue posizioni anteriori ».

Ed ora ad un altro fatto: alle *interferenze*. Se due serie di onde della stessa lunghezza partono nel medesimo istante da un medesimo punto, gli impulsi dell'una si aggiungono agli impulsi dell'altra, e ne è aumentata l'ampiezza d'oscillazione di ogni particella: e l'impulso si somma con l'impulso — e cresciuta ne è l'ampiezza delle oscillazioni — anche ove le onde di un sistema precedano quelle dell'altro di una, di due, di tre, di un numero intero di volte la lunghezza dell'onda. Ma se uno dei sistemi precede l'altro di quanta è la metà di cotesta lunghezza, ovvero anche di tre, cinque, sette volte la metà stessa — per ogni particella dell'etere una qualunque fase del moto impressole da un sistema, sarà opposta a quella corrispondente al moto che le proviene dall'altro: l'aggiungersi del nuovo moto scemerà l'effetto del primo: lo annullerà anzi, quando di entrambi fosse eguale la intensità: ove si tratti di onde luminose si avrà l'oscurità, ove di onde calorifiche il freddo, e basterà a riavere luce e calore che una delle sorgenti si estingua.

Le onde inviluppanti di Huyghens.
Legg. espl.: — *L* centro di vibraz.; *AB* superf. d'onda; *S*,*S*,*S*'' . . superf. delle onde generate da *a*,*b*,*c* . . .; *A'B'* superf. d'onda risultante.

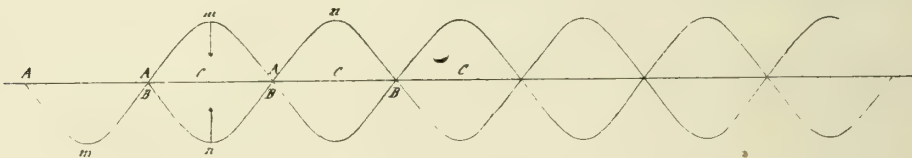
Si è per questi fatti — cui i fisici danno nome di interferenze — che se luce rossa, gialla, verde — di qualunque tinta insomma purchè semplice — tale cioè che passando attraverso il prisma si dimostri non decomponibile

in raggi di diversi colori — partendo da un punto, è riflessa come nel classico esperimento di Fresnel, da due specchi ad angolo — sicchè le onde, dopo la riflessione si propagano come se partissero dalle immagini che del punto dànno i due specchi — là dove le distanze da coteste immagini sono uguali tra loro, o differiscono di un numero intero di volte la lunghezza dell'onda, la luce si ha più intensa e brilla nelle eleganti *frange*, mentre nei punti, la cui distanza da una delle immagini separa l'altra di un numero impari di volte la semilunghezza dell'onda, tace — invece — ogni luce. Si è a cagione di coteste interferenze che ci è dato ammirare le eleganze delle *frange di diffra-*

Le onde concordanti.
AmAmA, *BmBmB* onde in corcondanza di fase: *ACnCnCA* onda risultante.

zione che si producono all' incontrarsi dei fasci di luce alla loro uscita dalle aperture piccolissime.

Intorno a coteste frange di diffrazione ad un solo colore, è necessaria spendere ancora qualche parola. La loro lunghezza dipende — fu detto — da quella dell'onda; poichè sono misurabili, esse offrono al fisico il mezzo di conoscere con sicurezza la lunghezza della invisibile onda dell'etere invisibile.

Sono le onde luminose di una piccolezza estrema: delle più lunghe — quelle

Le onde in opposizione.
AmAmA, *BnBnB* onde in opp. di fase: *CCC* posizione risultante.

del rosso più cupo —lo spazio di un millimetro ne contiene oltre quindicimila, ed oltre ventiquattromila — nella stessa lunghezza — sono quelle che suscitano nell'occhio nostro la sensazione del violetto più carico (1); malgrado la piccolezza estrema — più ancora, malgrado l'etere si sottragga allo sguardo, — il fisico può essere sicuro di conoscere la lunghezza dell'onda quanto lo è l'astronomo, per quel che riguarda la distanza che ne divide dal sole.

E la lunghezza dell'onda ha svelato alla scienza un mistero ancora più profondo. Nella natura l'infinitamente piccolo è meraviglioso quanto ciò che ne

(1) Le medie lunghezze d'onda per le diverse radiazioni sono, in milionesimi di millimetro: 620 per i raggi di luce rossa — 583 id. ranciata — 551 id. gialla — 512 id. verde — 475 id. azzurra — 449 id. indaco — 423 id. violetta.

colpisce per la grandiosità sua; l'infusorio lo è quanto la balena, la spora microscopica quanto il cedro superbo del Libano: nobili ugualmente, sono per la natura la stella più splendida del firmamento e la molecola invisibile. Deve essere dell'una come dell'altra la vita

« che mai non trova loco ove s'acqueti (1) »;

onde alle stelle smisurate il rotare con velocità spaventose per lo spazio sconfinato, alle particelle invisibili il percorrere — potremmo dire — uguali spazi col vibrare centinaia di milioni di volte in un milionesimo di secondo per quelle orbite che armonia voleva assegnate alla loro piccolezza. È il mistero del numero di coteste vibrazioni che la misura della lunghezza dell'onda ha svelato.

Ogni onda — già occorse di notarlo — è il risultato di una delle vibrazioni che producono nel corpo da cui s'irraggia l'energia; e poichè, quando nel corpo si produce l'ultima delle vibrazioni che un secondo abbia visto compiersi, l'onda suscitata dalla prima è già di trecento milioni di metri lontana dalla origine, così quante sono onde nei trecento milioni di metri, altrettante in un secondo furono vibrazioni nel corpo. Perciò, a conoscere quante siano, basta dividere i trecento milioni di metri per la lunghezza dell'onda.

L'esperienza di due specchi del Fresnel,

Legg. esplic.: *L* sorg. di luce; *AB* specchi piani; *L'L''* immagini di *L* date dai due specchi: *aa* superficie d'onde riflesse da *A* distanti tra loro di una lunghezza d'onda: *bb* sim. ril. da *B*; *a'a'* superfic. equidist. dalle *aa*: *b'b'* sup. equidist. dalle *bb*: *b* punti di massima luminosità: *o* punti di massima oscurità.

Sono numeri nei quali la mente si smarrisce (2): ciò non pertanto di essi il fisico può tenersi sicuro come di quello delle vibrazioni della corda del pianoforte, ch'egli ha trovato il modo di registrare.

Quali applicazioni anche nel campo della pratica si siano tratti da coteste misure avremo occasione di esporre poi. Qui ci è duopo, invece, di accennare ad un altro fatto, ai colori delle lamine sottili, a quei colori smaglianti di cui natura si compiace far pompa nell'umile bolla di acqua saponata e nel velo onde si copre lo stagno ove si siano compiuti i misteri dello sfasciarsi degli organismi.

(1) Goethe.

(2) Se si divide 300.000.000 di metri per le lunghezze d'onda, si hanno i numeri per secondo delle vibrazioni corrispondenti ai moti che suscitano nell'occhio nostro la senzazione dei diversi colori. Essi risultano in media:

484 trilioni per i raggi di color rosso — 514 id. ranciato — 544 id. giallo — 586 id. verde — 631 id. azzurro — 668 id indaco — 709 id. violetto.

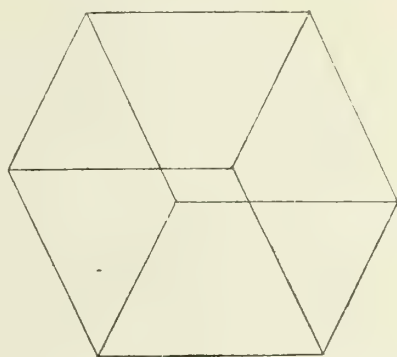
La luce bianca — lo dice il prisma — è formata da raggi di colore diverso. Sono i raggi che danno i colori dell'iride. Nella varietà delle loro gradazioni sono innumerabili, così che quando Chevreul volle stabilire una classificazione delle tinte dovette fissarne quattordicimila tipi, e ancora non ebbe raggiunta quella continuità che esiste nella natura; continuità per la quale insensibilmente si passa dal rosso al ranciato, al giallo, al verde, all'azzurro, all'indaco, al violetto.

Nella varietà delle loro gradazioni sono innumerabili, ma ciascuno ha — saremmo tentati di dire — una personalità ben definita: ciascuna luce semplice ha la sua lunghezza d'onda caratteristica, si trovi essa nei raggi abbaglianti del sole dei tropici o in quelli che invia l'ultima scintilla del lucignolo fioco, morente nel tugurio del povero. Non sono numerabili le luci elementari, e tutte si propagano insieme: la tinta della luce da tutte formata è la risultante delle innumere sensazioni che si suscitano nella retina nostra da tutte colpita ad un tempo. Se incontrano uno specchio tutte insieme rimbalzano; se, invece, una lamina incolora, diafana, esile tanto che esista una lunghezza d'onda alla cui metà si eguagli lo spessore della lamina — ne riesce perturbata l'armonia, e la lamina appare — a chi la guardi per riflessione — di un colore o di un altro, secondo lo spessore di essa.

Se questo è uguale a metà della lunghezza dell'onda rossa, rossa appare la lamina; se dell'azzurra, azzurra: è fenomeno d'interferenza con concordanza di fase. Della luce, infatti, che arriva alla lamina una parte viene riflessa dalla prima superficie: della rimanente — che penetra nella lamina — una nuova frazione è riflessa dalla seconda faccia, e, ritornata alla prima, di nuovo la attraversa unendosi a quella che su la prima faccia medesima ha subito la riflessione — e perciò se ne ritorna senza essere penetrata nella lamina. — Siccome, di questa, lo spessore è metà della lunghezza di un'onda, e ad ogni lunghezza d'onda corrisponde un determinato colore, la luce impiegherà — nell'attraversare la lamina due volte, come deve, per portarsi dalla faccia anteriore all'altra e ritornare alla prima — tanto tempo quanto ad un'onda intera — di quel medesimo colore e non di altri — occorre per avanzarsi di tutta la sua lunghezza. Alla faccia anteriore giungerà pertanto nella identica fase di quella — corrispondente alla medesima tinta — che ne è immediatamente riflessa. I punti della faccia anteriore sono così nella condizione che da essi due onde, cui corrisponde il medesimo colore, partono — se è con-

La rifrazione della luce; mutazione di direzione dovuta al cambiamento di velocità di propagazione.
Legg. espl.: — *LALB'* fascio di raggi paralleli: *AB* onda al momento in cui comincia a giungere in *SS* superf. di divis. dei due mezzi: *AA'* e *BB'* distanz percorse nel medesimo tempo nei due mezzi, diverse per la differenza di veloc. di propagaz. *B'A'* direz. che deve avere l'onda penetrando nel secondo mezzo: *AA'* e *B'L'* direzione della luce nel nuovo mezzo.

sentita la parola — all'unisono, e perciò devono avere potenza doppia di quella di tutte le altre, per le quali — è evidente — non può aversi il medesimo accordo di fasi, a cagione della loro lunghezza, diversa dalla doppia spessezza della lamina.

Nella luce che la lamina rimanda all'occhio nostro — e per la quale unicamente ne riesce possibile vederla — un colore sarà perciò prevalente, e di quel colore apparirà — per riflessione — la lamina, ancora che formata da sostanza incolora. Il fanciullo, che continua a soffiare perchè la bolla di acqua saponata ingigantisca, inconsciamente eseguisce uno tra gli esperimenti più eleganti dell'ottica: inconsciamente — col semplice assottigliare il fragile velo — dà successivamente ai diversi sistemi di onde, che commisti agli altri ripartirebbero dalla bolla confusi con essi, il mezzo di affermarsi allontanandosene in concordanza di fase con un sistema fratello. E con cotesto fatto un altro ha relazione stretta, ed è importantissimo: il prodursi delle *onde stazionarie*. A comprenderlo gioverà attenersi ad un caso speciale, quello di un fascio di una delle innumerabili luci semplici onde si compongono i raggi solari, quale potrebbe aversi chiudendo con vetro colorato opportuno — rosso, poniamo, a semplificare il discorso — l'apertura per cui i raggi stessi entrassero in una camera oscura. Quel fascio di luce rossa — del quale il pulviscolo atmosferico segna con tanta nettezza il cammino — è — occorre non dimenticarlo — figlio del sole, e le sue onde sono una minima parte di altre aventi il centro ad una distanza che, a mille chilometri al giorno, non può essere percorsa se non impiegando dei secoli. In quel fascio pertanto i raggi saranno paralleli e riuscirà impossibile avvertire convessità negli elementi di onde eteree che lo costituiscono; quegli elementi saranno privi di curvatura, saranno piani.

La forma dei cristalli dello spato d'Islanda.

Ricevendo il fascio rosso su di uno specchio piano che lo rifletta nella identica direzione nella quale ad esso arriva, il fascio stesso — è questo il fatto di cui dobbiamo occuparci — riuscirà stratificato a straterelli paralleli allo specchio alternativamente luminosi ed oscuri. Meglio: si produrranno delle frange d'interferenza nelle direzioni perpendicolari allo specchio.

Da ogni punto, infatti, la cui distanza da questo sia uguale a metà della lunghezza dell'onda rossa, la luce impiegherà, per andare allo specchio e ritornare riflessa, il tempo necessario all'avanzarsi di un'onda completa, ed ogni fase di vibrazione del moto riflesso coinciderà con quella del moto diretto; e — poichè quel moto di particelle dell'etere è luce — la luce vi avrà intensità doppia di quella che vi si avrebbe sopprimendo il fascio riflesso. Da ogni punto, invece, la cui distanza dallo specchio sia uguale ad un quarto della lunghezza dell'onda rossa, la luce — per ritornare dopo avere subita la riflessione dallo specchio — impiegherà il tempo occorrente all'avanzarsi di metà della lunghezza dell'onda corrispondente, ed ogni fase del moto riflesso coin-

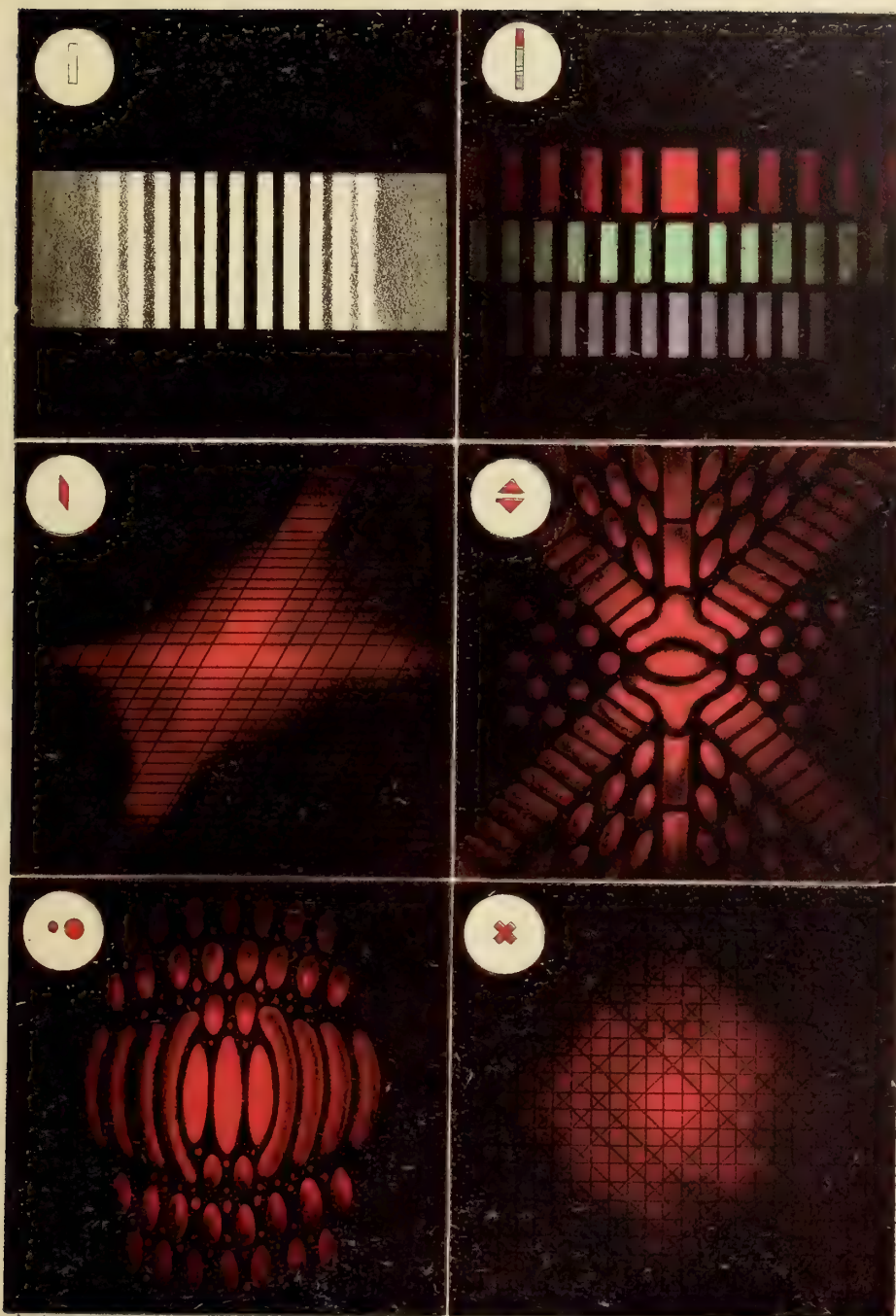
ciderà con la opposta del moto diretto: vi tacerà ogni luce. Alla distanza, dallo specchio, eguale ad un quarto della lunghezza dell'onda rossa, si avrà una zona piana completamente oscura parallela allo specchio: a distanza uguale a metà della stessa lunghezza, se ne avrà una, invece, di splendore doppio di quella che si avrebbe con l'impedire la riflessione. E più — ci pare facile il vederlo — ogni zona piana — nel fascio luminoso — parallela allo specchio che da quella prima zona oscura disti un numero intero di volte la semilunghezza dell'onda sarà oscura; brillante, invece, ogni zona che dalla zona brillante disti pure di un numero intero di volte tale semilunghezza. Mentre, pertanto, ognuno dei due fasci — diretto e riflesso — avrebbe per tutto — ove fosse solo — la stessa intensità, il loro incontro li riduce ad una serie di straterelli paralleli allo specchio, alternativamente brillanti ed oscuri. Ma come vicini quegli straterelli! Da una sezione oscura, o da una brillante alla successiva della stessa natura, non vi sarà che la distanza uguale a metà della lunghezza dell'onda, vale a dire non più che qualche decimillesimo di millimetro. E la intensità luminosa non sarà uniforme in ciascun straterello, ma con delicatissima sfumatura andrà crescendo da ciascuna sezione oscura fino al piano che è esattamente a metà tra due sezioni oscure consecutive, e la superficie più oscura e la più brillante saranno sottili così che — al loro confronto — il più sottile velo di acqua saponata parrebbe spesso, diremmo quasi, quanto la crosta terrestre!

Il presente lavoro non dev'essere un trattato di fisica: ma gli studî e le applicazioni che dovremo esporre riuscirebbero assolutamente incomprensibili senza che venissero richiamate alcune nozioni, ed è ciò appunto che andiamo facendo in queste pagine d'introduzione, unico mezzo perchè il discorso possa poi procedere spedito.

Il lettore ci consenta pertanto di esporre ancora alcuni fatti. Saranno pochi, ma essi pure sono fondamentali.

La velocità con cui la luce si propaga — esperienze bellissime che dovremo esporre poi, lo hanno provato — è diversa secondo i mezzi: nell'acqua, nel vetro è minore che nell'aria.

Se un fascio di raggi paralleli, un fascio di raggi solari che si propaghi in un mezzo — nell'aria, poniamo — giunge alla superficie di un altro — ben s'intende, diafano — ove vi arrivi perpendicolarmente — normalmente, direbbe un geometra — alla superficie, — se in parte ne è riflesso — nella parte maggiore vi penetra e prosegue per lo stesso cammino; nulla — nella parte che penetra nel nuovo mezzo — è mutato all'infuori della velocità di propagazione. Ma se vi giunge obliquo, un piano d'onda qualsiasi — gli elementi di onda saranno piani a cagione del parallelismo dei raggi, — si propagherà nel nuovo mezzo — acqua, supponiamo, per semplificare il linguaggio — con una orientazione diversa.

L'elemento dell'onda che tocca primo la superficie di divisione — nel tempo decorso da quando è giunto ad essa al momento in cui ad essa arriva l'elemento della stessa onda che più ne è lontano — avrà percorso nel nuovo mezzo uno spazio diverso da quello che nel medesimo tempo avrà percorso nell'aria cotesto elemento che alla superficie dell'acqua giungerà in-

Il Secolo XIX Stab. Tip.-Lit. Dott. F. Vallardi *Proprietà Artistica*

Frange d'interferenza.

Luce ed ombre prodotte dal passaggio di raggi luminosi bianchi o di un solo colore attraverso a piccole aperture di diverse forme, ovvero prodotte dall'incontro di due raggi dello stesso colore semplice.

vece per l' ultimo; lo stesso — proporzionalmente — potrà ripetersi degli altri elementi.

La superficie inviluppo che costituirà nell'acqua la nuova onda — quando tutta vi sia penetrata — sarà — il calcolo lo prova — ancora piana, ma dovrà essere orientata diversamente da quel che era nell'aria: il fascio luminoso seguirà un cammino diverso. È codesto il fenomeno della rifrazione della luce.

A determinare il nuovo andamento del raggio, due elementi entrano in giuoco, e sono quelli da cui dipende la velocità di propagazione: elasticità e densità. Quanto più saranno grande la prima e piccola la seconda, tanto maggiore sarà la velocità. « L'enorme velocità della luce nello spazio stellare, scrive Tyndall, può aversi perchè l'etere ha ad un tempo densità infinitamente piccola ed elasticità enorme. L'etere avviluppa gli atomi di tutti i corpi, ma non è indipendente. Nella materia ponderabile, esso agisce come se la sua densità fosse accresciuta, senza un aumento proporzionale di elasticità, e ciò spiega la diminuzione di velocità della luce nei corpi rifrangenti ».

Asse ottico in un cristallo di spato d'Islanda.
Legg. espl.: — *A* vertice com. a tre angoli facciali ottusi; *AD*, *AF* uguali ad *AB*; *AH* asse ottico.

Cotesta diminuzione può anzi in alcuni corpi essere diversa secondo le direzioni, e dar luogo ad una serie di fatti che sono tra i più suggestivi che la fisica molecolare presenti: i fatti della *rifrazione doppia* e — per conseguenza — della *polarizzazione*.

Tutti conosciamo lo spato d'Islanda, il carbonato di calce cristallizzato in romboedri tanto eleganti.

In esso — come in ogni cristallo — si spiega tutta la magnificenza dell'opera della natura nell'unire molecola a molecola così che ne risulti un edificio di una regolarità assolutamente insuperabile. In un romboedro perfetto — nel quale tutti gli spigoli sono uguali — intorno alla retta che congiunge i vertici ove concorrono tre angoli ottusi, le molecole sono distribuite in maniera simmetrica; è quella che il fisico chiama l'*asse* del cristallo.

Intorno ad essa, poichè le molecole sono uniformemente distribuite, uniforme riesce la distribuzione dell'etere. Ma la elasticità non vi è così grande come secondo l'asse; possiamo anche dire secondo le infinite rette parallele all'asse, giacchè qualunque di esse, può, purchè si immagini opportunamente sfaldato il cristallo, essere a sua volta considerata quale asse.

Se un raggio di luce attraversa il cristallo in cotesta direzione, la velocità di propagazione riesce mutata da quel che era nell'aria, ma nulla avviene all'infuori di questo. Se invece il raggio giunge al cristallo secondo una direzione perpendicolare all'asse, le vibrazioni che vi corrispondono — trasversali, occorre tenerlo presente, rispetto all'andamento del raggio — si trasmet-

tono a sostanza — l'etere — atta a propagarle con velocità che nella direzione dell'asse è maggiore che non nelle altre.

Differenza nella velocità di propagazione porta con sè — lo abbiamo veduto — deviazione di cammino. Il raggio deve dunque sdoppiarsi · si ha allora la rifrazione che i fisici chiamano doppia perchè ogni raggio che giunga al cristallo, nell'attraversarlo dà luogo a due raggi rifratti. Un raggio di luce solare che attraversi il cristallo ne esce sdoppiato, e raddoppiato appare un oggetto posto al di là del cristallo.

Per quanto meno appariscente, l'esperienza riesce molto istruttiva se attraverso il cristallo si osserva un semplice punto. Ove si giri il cristallo su se stesso — facendo, cioè, che le facce d'incidenza e di emergenza si muovano sempre nel medesimo piano — una delle immagini del punto rimane immobile, l'altra, invece, si sposta, e, in un giro completo, descrive una circonferenza che ha per centro la prima. Al raggio cui è dovuta l'immagine immobile si dà il nome di *raggio ordinario,* all'altro quello di *straordinario.*

Quei due raggi sono dotati di proprietà molto differenti e, per il fisico, molto importanti. L'uno, l'ordinario, segue le leggi della rifrazione semplice (1); l'altro, lo straordinario, non le segue affatto, e solo si mantiene nel piano d'incidenza quando questa avviene in una *sezione principale*, in un piano, cioè, perpendicolare ad una delle facce e parallelo all'asse.

Non è compito nostro entrare in maggiori particolari. Non possiamo però passare sotto silenzio due esperienze.

Ove si faccia che il raggio ordinario e lo straordinario uscenti da un cristallo di spato d'Islanda attraversino una lente opportunamente disposta, si possono ottenere su uno schermo due immagini, e queste hanno la stessa intensità di illuminazione: ove si sovrappongano parzialmente, la parte comune ha una intensità luminosa che uguaglia la somma delle due intensità, e lo splendore si mantiene immutato anche quando — col far ruotare il cristallo parallelamente alla faccia d'incidenza — le due immagini ruotano su lo schermo descrivendo un cerchio.

Doppia rifrazione dello spato d'Islanda.

Di cotesti raggi però la natura non può essere uguale a quella del raggio da cui hanno origine. Se — rendendo più evidente una bella esperienza di Huyghens — con l'intercettare l'uno o l'altro mediante uno schermo opportuno, si lascia ad uno solo la possibilità di ulteriore propagazione, e questo si invia ad un secondo cristallo di spato diretto in modo che le facce di incidenza e di emergenza siano parallele a quelle del primo, si osserva che,

(1) Le leggi sono due: 1.° il raggio rifratto è nel piano passante per il raggio incidente e per la retta che è normale alla superficie di divisione dei due mezzi e passa per il punto di incidenza:

2.° per due dati mezzi le distanze dalla normale di due punti segnati — l'uno sul raggio incidente, l'altro sul raggio rifratto — ad uguale distanza dal punto d'incidenza sono fra loro in rapporto costante. Questo rapporto — che è uguale a quello delle velocità di propagazione della luce nei due mezzi — viene detto *indice di rifrazione.*

quando le sezioni principali dei cristalli sono tra loro parallele, uno qualunque di quei due raggi — anzi che dar luogo a due raggi rifratti — non ne genera che uno; ed altrettanto avviene ove, facendo compire ad uno dei cristalli un quarto — o tre quarti — di giro, la sezione principale di uno viene a trovarsi in un piano perpendicolare a quello in cui è la sezione principale dell'altro.

E lo studio di quell'unico raggio che si ha quando i cristalli sono, a così dire, diretti al medesimo modo od incrociati ad angolo retto, mostra che il raggio corrispondente alla posizione di parallelismo è della stessa natura di quello che lo ha generato — ordinario o straordinario, secondo che lo schermo ha lasciato passare rispettivamente l'ordinario e lo straordinario — ed è invece di natura opposta quando i cristalli sono ad angolo retto — ordinario cioè o straordinario secondo che il primo cristallo aveva lasciato libero rispettivamente il raggio straordinario od ordinario —.

Sezioni principali di un cristallo di spato d' Islanda.
Legg. espl.: — *BD* asse ottico: *ABCD* sez. principale: *abcd* piani paralleli ad *ABCD* e perciò sezioni principali essi pure.

La luce uscita dal primo cristallo non è dunque della stessa natura di quella che vi è entrata. Si dice *polarizzata.*

In che differisce essa dalla luce ordinaria?

Se, tenendo fisso un lato di un angolo retto, facciamo che l'altro ruoti intorno ad esso, il lato mobile passa per una serie infinita di direzioni tutte perpendicolari al lato fisso. Ove questo segni l'andamento di un raggio luminoso, una qualunque delle infinite direzioni dell'altro può essere quella delle vibrazioni dell'etere nella trasmissione della luce ordinaria. In una superficie d'onda le particelle dell' etere vibrano in tutte le direzioni: per cotesto lato la superficie dell' onda renderebbe all'occhio nostro, ove potesse scorgerla, lo spettacolo del più strano disordine, pure in mezzo all'insuperabile regolarità con la quale ciascuna particella passa per le infinite fasi che corrispondono al propagarsi dell'onda. Se — anzi che di particelle eteree — si trattasse di esseri intelligenti, dovrebbe dirsi che si agitano con furore, all'impazzata, con l'unica preoccupazione di trasmettere ad altri l'urto ricevuto.

Quando il raggio entra in un cristallo — fu detto — la vibrazione non può prodursi che in due direzioni: quella — parallela all'asse — della massima elasticità dell'etere e l'altra ad essa perpendicolare. Ed avviene perciò di quel moto vibratorio quel che accade se premiamo un corpo contro una parete piana. Ove la pressione sia perpendicolare alla parete, si trasmette tutta ad essa e le trasmetterebbe nella stessa direzione il moto, ove fosse mobile: ove sia parallela alla parete, il corpo si muoverà parallelamente a questa e senza che essa risenta azione alcuna: ove infine obliqua, darà luogo a due componenti, una perpendicolare alla parete e l'altra parallela ad essa; la parete sarà premuta perpendicolarmente e il corpo striscerà lungo essa.

Non altrimenti avviene del moto dell'etere che giunge al primo spato. Le vibrazioni che vi arrivano si scompongono in due direzioni: l'una paral-

lela all'asse, e l'altra perpendicolare a questo: il cristallo fa di quel sistema di vibrazioni, che saremmo tentati di dire disordinate, due sistemi di vibrazioni parallele, l'una nel senso dell'asse, l'altra perpendicolare alla prima; due sistemi le cui direzioni sono determinate per l'uno dalla sezione principale, per l'altro dalla direzione perpendicolare a questa; due sistemi nei quali impera il massimo ordine. Così quando uno dei raggi giunge al secondo cristallo, se, essendo parallele le facce di incidenza e di emergenza, le sezioni normali sono parallele — e possono esserlo, per una posizione di uno dei cristalli, in due diametralmente opposte dell'altro — un raggio ordinario potrà suscitarvi moto, e se ne avrà un raggio ordinario, lo straordinario no, invece perchè le vibrazioni di esso sono perpendicolari alla direzione in cui unicamente può vibrare l'etere che ne è colpito. E — per la medesima ragione — lo stesso raggio ordinario susciterà invece lo straordinario — ed unicamente questo — nelle due posizioni in cui i cristalli sono reciprocamente ad angolo retto; mentre ove lo schermo sia disposto così da dare passaggio al solo raggio straordinario, questo potrà suscitare il raggio ordinario nel secondo cristallo ove la posizione relativa dei due spati sia quella di perpendicolarità, lo straordinario ove di parallelismo. Nelle infinite altre posizioni dei due cristalli, uno qualunque dei due raggi uscenti dal primo susciterà i raggi di entrambe le specie nell'altro, perchè la vibrazione di ciascuno potrà — alla stessa guisa con cui si decompone la pressione obliqua — decomporsi secondo ambedue le direzioni nelle quali l'etere può vibrare.

Proiezioni di raggio birifratto.
Legg. ispl.:— *C* cristallo; *R* raggio ord., *R'* raggio straordin.; *L* lente di proiez. *O* immag. dov. al raggio ord.: *S* immag. dovuta al raggio straord.

Uguaglianza di splendore delle immagini ordinaria e straordinaria sulla doppia rifrazione.

Il secondo cristallo compie dunque un ufficio ben prezioso per il fisico: esso svela della luce lo stato di polarizzazione, e dice pure in quale piano essa si trovi polarizzata; si chiama perciò l'*analizzatore*, mentre al primo è più propriamente riserbato quello di *polarizzatore*.

I fenomeni presentati in modo cospicuo dallo spato d'Islanda sono offerti colle medesime modalità da moltissimi cristalli di diverse sostanze: altri offrono di più la singolarità di due assi anzi che di uno solo. È superfluo dire che il fisico chiama *monoassi* i primi, *biassi* i secondi.

Con ciò — perchè non vogliamo dire una parola di più di quel che è stret-

tamente indispensabile — chiudiamo queste pagine, senza di cui riuscirebbe impossibile comprendere una parte non piccola del lavoro scientifico e tecnico del secolo XIX, cosichè dovremo riferirci ad esse con frequenza. Abbiamo sempre parlato di raggi luminosi, e ad essi unicamente si erano volti gli studi anteriori al secolo XIX. Toccava a questo la gloria di sviluppare la teoria delle ondulazioni, traendone — per quel che riguarda la luce — una moltitudine di cognizioni nuove, preziose e di applicazioni importanti: la gloria di estenderla al calore, all'attività chimica, all'elettricità.

Ma fosse pur stata limitata al solo campo dell'ottica, essa sarebbe sempre rimasta una delle concezioni più mirabili dell'umano ingegno. Essa ha portato una grande rivoluzione in idee che dobbiamo avere su l'universo: lo ha spogliato delle apparenze usurpate di uno splendido manto, e ha rivelato invece uno dei lati più meravigliosi dell'universo e dell'uomo.

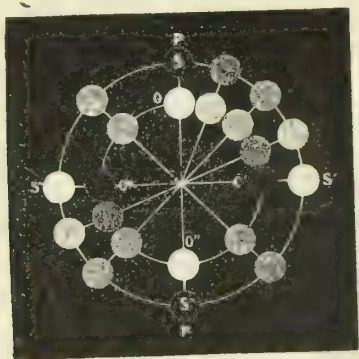
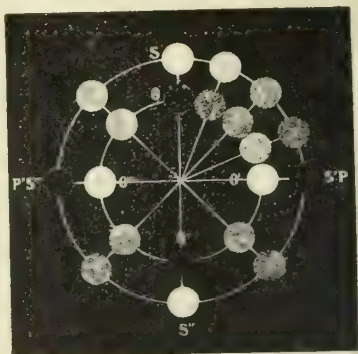
Pensiamo agli incanti della luce, agli spettacoli che essa ne offre; essa che è il sorriso della natura. Sono da essa il fulgore della gemma, la bellezza dei petali della rosa, delle spumose lame del mare, delle penne del colibrì: senza di essa per il beduino e per il kirghiso non avrebbero fascini il deserto e la steppa. Quale incanto nell'oceano fosforescente, nel firmamento tempestato di astri, nelle stelle filanti, nell' arcobaleno, negli splendori di apoteosi con cui dalle vette alte vediamo talvolta circonfusa su le nubi la immagine nostra; nell'orizzonte acceso dal sole, negli ardori — vorremmo dire — del primo e dell'ultimo bacio!

Polarizzazione del raggio ordinario mediante doppia rifrazione.
Legg. espl.: — *R* raggio ord.; *R'* raggio str.: *C'* crist. birifr.; *R* raggio ord.; *R'* raggio straordin.: *O* immag. ord., *S* immag. straord.

Gli abitatori delle terre diseredate del polo ed i fortunati che vi passarono tra i ghiacci la lunga notte invernale parlano entusiasti delle aurore polari quando « lunghe drapperie dorate nuotano sopra la testa dello spettatore, ondeggianti come agitate dal vento »; parlano entusiasti del cielo « che sembra una cupola di fuoco (1) », o fatto simile « alla volta immensa di un tempio al cui sommo brillasse il più splendido lampadario (2) » del « serpente di luce soffice, ondeggiante, mutante ad ogni tratto forma e colore... rotolantesi su un fondo d'argento » (3); descrivono liricamente il ritorno del sole e « l'estasi nel bagnarsi nei suoi torrenti di luce » (4).

Quale godimento per gli arditi esploratori dell'atmosfera nell' ammirare « spianate di vapori in cui delle valli d'argento appaiono in mezzo a mon-

(1) Martins.
(2) Lemström, aurora boreale del 18 ottobre 1868.
(3) Wympfer.
(4) Markhamm.

tagne di fuoco (1) »: nell'assistere di lassù ad un tramonto quando il sole « come per dare un ultimo saluto a quelle belle nuvole che tingeva di oro e di porpora, manda un ultimo lampo abbagliante su quei fantastici palazzi

Sdoppiamento del raggio ordinario — Intensità variabile delle immagini del fascio polarizzato.

Sdoppiamento del raggio straordinario. — Intensità variabile delle immagini del fascio polarizzato.

fatti di nubi cozzanti nel cielo, e l'aria s'infiamma per un istante, si colora di croco come ai riflessi di un incendio lontano, le nubi, lo spazio azzurro, la terra medesima, si inondano improvvisamente di quella luce abbagliante! » (2)

Quale godimento! E chi può dire le meraviglie che si desterebbero in noi se lo sguardo nostro potesse contemplare il fondo dei mari, strani cemeteri cui mutano in regni di fate le foreste luminose e i mille mostri che — pur quando la sonda li porta alla superficie delle acque — proiettano ovunque « getti di fuoco (3)... così da gareggiare quasi col sole » ?

Nella magnificenza degli spettacoli che ovunque offre la luce sta la ragione per cui presso tutti i popoli l'idea di essa si legò a quella della divinità benefica, si legò quella delle tenebre ai principî del male. Come — nelle poetiche creazioni dell'Edda — tenebroso è il Nifleim, l'orrenda dimora di Hel — la dea della morte — mentre di spada fiammeggiante è ornato Sustr, il dio che ha la custodia del Muspelleim — mondo di fuoco e regno della vita —; come, nel panteismo astrologico dei libri Zend, Ahrimane — la negazione — rappresentano le tenebre, mentre Orzmud — il principio del bene — è la gran luce, e splendore della luce stessa di Orzmud è ogni oggetto luminoso; così il sommo poeta chiama Dio la « luce eterna » e

.... lo raggio
Dell'alta luce che da sè è vera; (4)

così perfino — nella pagina sublime — il rapito di Patmo chiama luce il Verbo.

Ebbene, che è la luce? Che è essa mai?

Una sensazione che si suscita in noi: per l'universo non v'ha che il movimento. Il moto è; è, indipendentemente dall'occhio: ma quello che noi chiamiamo la luce non è, se non in quanto vi ha l'occhio.

(1) G. Tissandier: Ascensione aerostatica del 16 febbraio 1873
(2) G. Tissandier: Ascensione aerostatica dell'8 novembre 1878.
(3) De-Folin.
(4) Paradiso, Canto XXXIII.

La teoria delle ondulazioni — abbiamo detto — ha spogliato l'universo delle apparenze usurpate di uno splendido manto: il manto della luce e dei colori. Gli ha dato invece il moto meraviglioso di quante sono in esso particelle di materia e di etere, gli ha dato quel fremito che mai non resta, cui fantasia non giunge a figurarsi, e che da ciascuna particella si trasmette a tutto l'etere, a tutti i mondi.

E all'uomo? Helmholtz ebbe detto che se un costruttore di apparati di ottica gli avesse portato un istrumento così difettoso come lo è l'occhio, egli lo avrebbe rifiutato: in un certo senso Helmholtz aveva ragione. Ma quando la mente, lungi dall' arrestarsi alle imperfezioni geometriche della struttura dell'occhio, si volge al lavoro che avviene su la nostra retina allorchè vi penetrano le onde luminose; quando si volge al fatto della visione; quando considera che retina e nervo possono ricevere impulsioni a centinaia di milioni in un centesimo di secondo; che ciò vi suscita la divina sensazione della luce; che il variare il numero delle impulsioni basta perchè diversi si suscitino i colori; che dalla disposizione delle microscopiche immagini su la retina stessa si suscitano le idee delle forme; che, in una parola, l'occhio è tale strumento che il lavoro che vi compiono le onde vale a rivelarci il poema di forme che è nella natura ed a fonderlo con un poema di splendori, di colori; oh! allora essa, la mente, deve chinarsi riverente al Creatore; e nell'occhio vedere uno strumento ben degno — per le meraviglie sue — delle meraviglie cui è destinato a svelare.

Tali sono le parti che la teorica delle ondulazioni ha fatto all'universo ed all'uomo.

Ove poi occorresse fino da questo momento mostrare qualche cosa di quanto il progresso moderno deve alla teorica delle ondulazioni, basterebbe ricordare una pagina della storia delle industrie alla fine del secolo XIX.

Dal 1830 si andava ricercando il motore elettrico, e solo si era riuscito nel costruire il piccolo motore, atto ad azionare i meccanismi più modesti. Il motore elettrico veramente industriale — atto a compire qualunque ufficio ed a sviluppare potenza in misura grande comunque — era sempre tra' desiderati, perchè gli apparecchi elettromagnetici a cui si era giunti — per quanto ingegnosi — non potevano funzionare se non a condizione di essere di piccole dimensioni e — per necessaria conseguenza — di piccola potenza. Tutti i tentativi di costruzione di motori elettrici la cui potenza arrivasse appena a quella di alcuni cavalli dinamici avevano avuto la stessa sorte di quel primo fatto da Jacobi nel 1838 per ottenere il moto di un battello — pur piccolo! — su la Neva: avevano abortito. Nè l'industria aveva saputo trarre partito dal motore del Pacinotti, pubblicato nel 1863.

Si era giunti così al 1873 quando un caso occorso all'Esposizione di Elettricità in Vienna, aveva fatto sperare la risoluzione completa del problema. Una dinamo della Casa Gramme si era messa un giorno improvvisamente in azione, senza che alcuna macchina trasmettesse moto alla sua puleggia. Ippolito Fontaine ingegnere elettricista della ditta espositrice, chiamato ad osservare lo strano fatto, aveva subito notato come i conduttori di un'altra dinamo — la quale era in azione — fossero venuti — per caso — a con-

tatto con quelli partenti dalla macchina, oggetto — per l'apparente anomalia — della meraviglia generale dei presenti. Il Fontaine aveva tosto compreso che il moto era dovuto al fatto dell'essere gli organi della macchina percorsi dalla corrente elettrica; e, cercando di spiegare il fatto, era giunto a stabilire che la dinamo — se è macchina la quale fornisce corrente elettrica quando le si comunica potenza meccanica — è pure macchina che deve sviluppare potenza meccanica quando le si immette corrente quale essa può generare. Aveva, in una parola, riscoperto il principio della *riversibilità* della dinamo; quel principio che il Pacinotti aveva nettamente formulato dieci anni prima nel *Nuovo Cimento* parlando del suo motore, ma che era passato completamente inosservato.

Da quel giorno parve che — dopo quasi mezzo secolo di tentativi e di ricerche — l'industria elettrica avesse trovato finalmente il motore; lo costituiva la dinamo stessa.

Ma in quel giorno si pose un altro problema — ardito e di altissimo interesse — quello della trasmissione elettrica dell'energia a grande distanza.

Si trovò allora che la corrente elettrica quale è generata da macchine del tipo Pacinotti-Gramme — *corrente diretta*, o, come si dice anche, *continua* — non poteva servire: occorreva ricorrere alle correnti *alternate* — a quelle correnti che mutano cioè continuamente di senso nel percorrere la linea e gli apparecchi di consumo. Il problema dell'aver un motore elettrico opportuno veniva così a porsi *ex novo*, e si presentava di soluzione tutt'altro che semplice; il perchè, la fiducia nella riuscita della trasmissione elettrica dell'energia a grandi distanze — quella trasmissione i cui studi avevano assorbito capitali ingenti e costato tanti e nobilissimi sforzi; quella trasmissione che doveva costituire una delle opere più meravigliose dell'ingegno umano e più importanti per la economia sociale — cotesta fiducia, diciamo, si era andata affievolendo, finchè — per un momento — perfino si disperò del successo. A che avrebbe giovato il trasmettere grandi quantità di energia, quando questa non avesse potuto venire utilizzata se non per qualche applicazione speciale, forse per la sola illuminazione?

Si è in siffatte condizioni che apparve la invenzione del *campo rotante* dovuta a Galileo Ferraris. In che consista per ora non occorre il dire. Questo solo importa il notare qui; il campo rotante fornì all'industria il vero motore elettrico, il motore universale, di cui essa aveva bisogno.

E come giunse il grande italiano alla sua invenzione?

« Un giorno (*) — così egli stesso narrava a chi scrive — avevo avuto gravi motivi per inquietarmi: tanto gravi, che non avevo potuto ricuperare la tranquillità dell'animo nemmeno nel tempo che avevo passato, per il pranzo, in famiglia (**).

Uscito di casa, mi portai tutto solo a passeggiare lungo il Po, e, per distrarmi, ripensavo ai miei primi studi di ottica; tra altro ripensavo alla polarizzazione della luce, a quelle vibrazioni nelle due direzioni perpendicolari tra loro, e mi chiesi che avverrebbe se si trattasse di vibrazioni elettro ma-

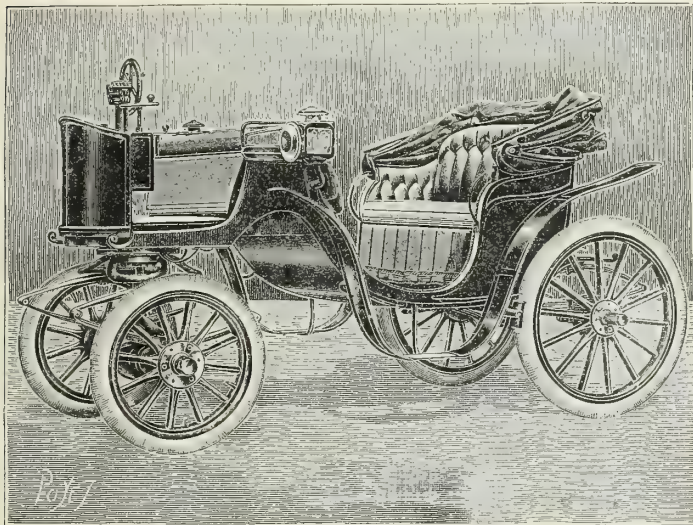
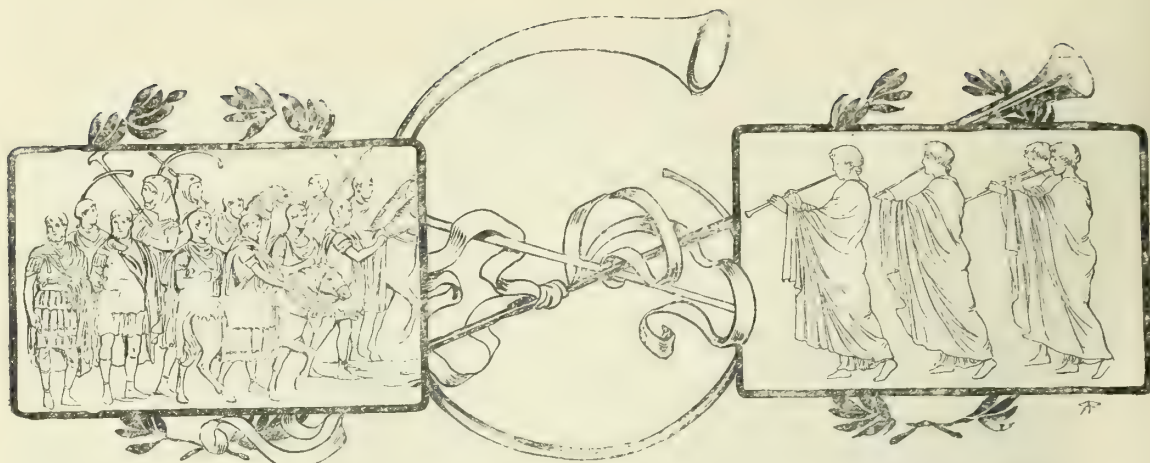
(*) Era il 1885.
(**) Galileo Ferraris conviveva con una sorella vedova e coi figli di essa.

gnetiche. Il giorno appresso mi recai al Museo Industriale (*), mi feci costruire alla meglio, come si poteva improvvisandolo, l'apparecchio, e vidi che la cosa andava ».

Sei anni dopo una splendida cascata ornava la celebre Esposizione di Francoforte: l'alimentava l'acqua del Meno, sollevata da un potente motore elettrico a cui l'energia era trasmessa da Lauffen sul Neckar, lontano 175 chilometri. Era quello un motore a campo rotante; a *campo Ferraris*, come in quell'occasione la scienza tedesca volle battezzata la invenzione del genio italiano.

Il problema della possibilità di trasmissione dell'energia a grande distanza si mostrava risolto, completamente risolto; una nuova èra cominciava per l'industria, quella èra che in breve volgere di anni ha aperto campi sconfinati all'attività umana, ha già sparso a piene mani per tutto il mondo civile i benefici delle grandi conquiste dell'elettricità.

E quale la scintilla che accese tanta face? Fu detto: la spiegazione che la teoria delle ondulazioni aveva potuto dare per la polarizzazione della luce.

(*) Galileo Ferraris vi insegnava Fisica Tecnica ed Elettrotecnica.

Automobile della fine del secolo XIX.

Suonatori di *cornu*
(Bassorilievi della Colonna Trajana)

Suonatori di σάλπιγξ
(Fregio del Partenone)

L'ACUSTICA E GLI ISTRUMENTI MUSICALI.

I.

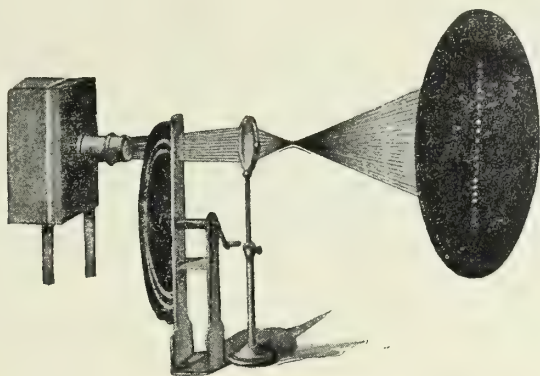
ALLA FINE DEL SECOLO XVIII.

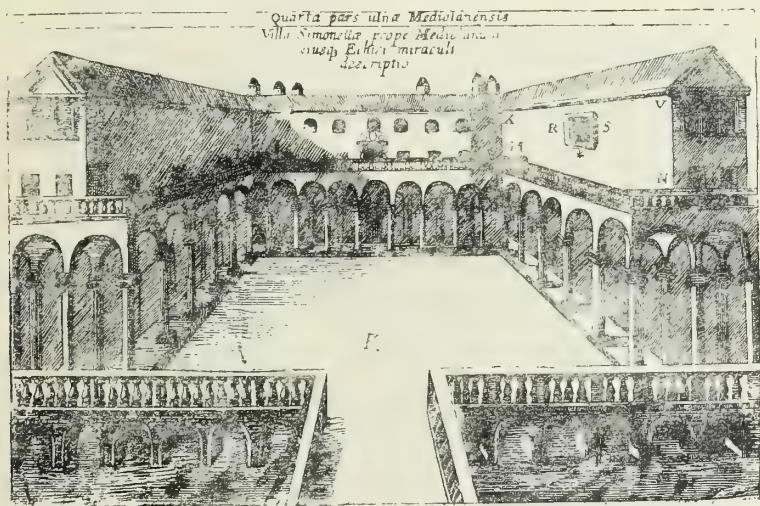
Si facevano mansuete le fiere ai canti di Orfeo, e nei burroni dei monti eternamente biancheggianti d' Islanda precipitavano i cacciatori attratti su gli orli fatali dalle nenie della *Regina dei ghiacci:* calmava l'arpa di Davide le furie di Saul, ed i pesci chiamava ad ascoltare le lodi di Dio la voce del taumaturgo di Padova.

Nel mito della Grecia e in quello della Scandinavia, nel racconto biblico e

L' udito.
Da una stampa del secolo XVIII.

nella ingenua narrazione dei « Fioretti di S. Francesco » è l'espressione poetica di un grande fatto, il magistero potente del senso dell'udito. « Il est certain que les sensations que l'ame reçoit par l'ouïe sont beaucoup plus fortes que

celles qui lui viennent par la vue »: in questo pensiero, suggerito dal lavoro di De Mairan — t. VIII della *Collection Académique*, parte relativa al 1737 — intorno alle analogie tra i fatti del suono e quelli osservati da

Apparecchio di Tyndall per dimostrare mediante proiezione come avvengono le vibrazioni dell'aria nella propagazione del suono.

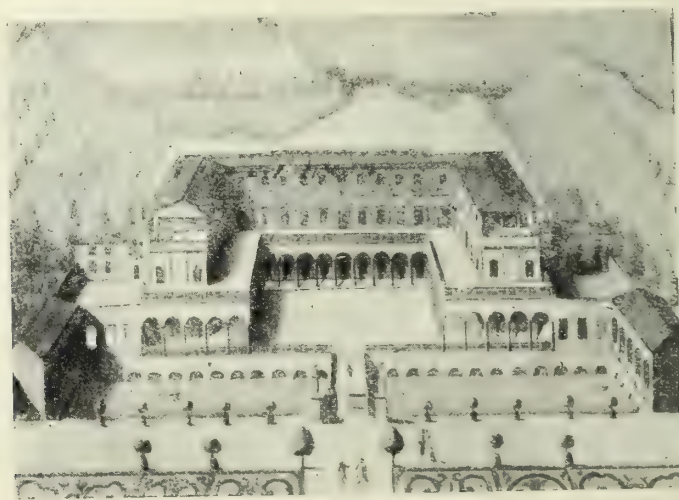
Newton su i colori, v'è molto di vero, se pure non è assolutamente vero; e nel fatto che esso esprime è certo una delle ragioni precipue di un altro, offerto dalla storia dell'acustica. Si consideri questa nella parte che è scienza

La Simonetta.
Riproduzione dell'incis. della *Phonurgia Nova* del Kircher — *Campidonae* (Kempten) *1673*, pag. 79, fatta su disegno del P. Matteo Storr.

pura, la si consideri in quella che — con gli istrumenti musicali — tocca invece la tecnica, la storia di essa mostra che prima del secolo XIX aveva già progredito piú, forse, che non lo fossero e la teoria degli altri rami della fisica e tutto in cui di questi si applicano i principi. Per quello, poi, che riguarda la costruzione di alcuni istrumenti, empiricamente si erano conseguiti — è notorio — risultati che, a tutto oggi, non furono superati.

La Simonetta allo stato attuale.
(Da fotogr. gentilmente eseguita da Carlo Fumagalli).

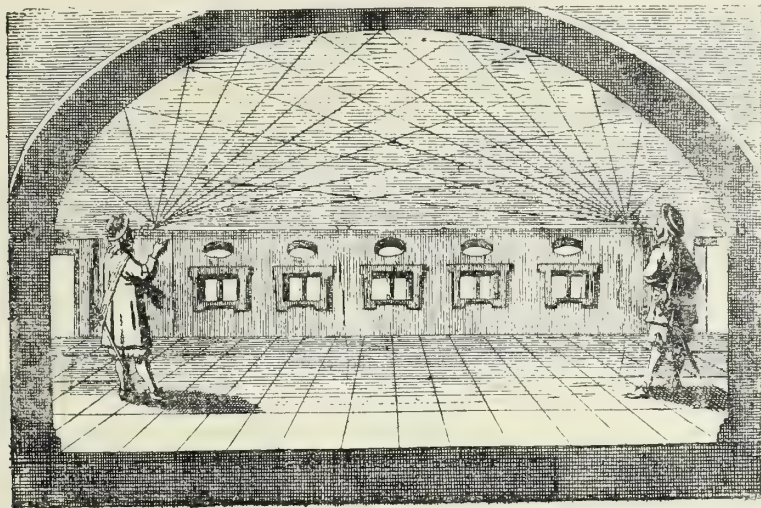
È un bilancio interessante quello dello stato delle cognizioni e degli istrumenti musicali al principio del secolo XIX.

Su la causa del suono si avevano già idee precise: si sapeva che esso è determinato da una serie di vibrazioni — moti alternativi riprodotti ad intervalli uguali e molto piccoli — dei corpi elastici: non si avevano tuttavia mezzi diretti e generali per determinare sperimentalmente con sicurezza i numeri assoluti di coteste vibrazioni.

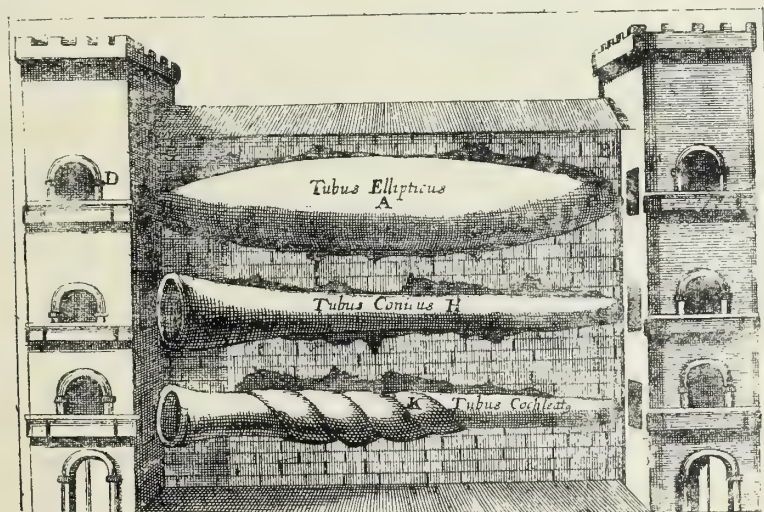
Era invece risaputo che esse sono isocrone; che il corpo sonoro può dividersi in un certo numero di parti vibranti, separate da limiti immobili;

La Simonetta
(Riproduz. della Tav. 3, Tomo I.° del *Ville di Delizia ossiano Palaggi Camparecci dello Stato di Milano, incise e stampate da Marcantonio Dal Rè Bolognese*. Milano, 1724.

che coteste parti si muovono sempre alternativamente in senso opposto: e — come oggi — si chiamavano *ventri* i punti di massima ampiezza, *nodi* quelli di vibrazione nulla.

E chiara era la nozione della necessità che materia continua, ininterrotta sia tra il corpo sonoro e l'organo dell'udito, come era noto che tutti i corpi elastici sono atti a trasmettere il suono.

Si aveva anzi già il concetto esatto dell'onda sonora, come onda consistente in trasmissione del moto vibratorio nella materia — non nell'etere — ed in cui le vibrazioni si producono nel senso del raggio — non

Un'incisione del secolo XVIII relativa ai *fuochi acustici*.
Dalla *Phonurgia Nova* del P. Kircher, pag. 99; *Campidonae per Rudolphum Dreherr, a.* 1673.

trasversalmente, come fu notato a proposito delle onde luminose —.

Che se il Crova ed il Tyndall — nella seconda metà del secolo XIX — furono i primi che con un apparecchio analogo a quello che serviva al Tyndall per le conferenze di ottica (1) — trovassero modo di rendere evidente

Disposizione ideata dal Kircher perchè « due principi possano conversare tra loro, stando in camere reciprocamente lontane »
Phon. Nova Campidonae, 1673, pag. 100.

cotesta differenza tra l'onda della materia trasmettente il suono e l'onda dell'etere, tuttavia la nozione dell'onda sonora era già precisa alla fine del settecento.

(1) Introduz. pag. 41.

Se ne conosceva bene anche il fenomeno della riflessione prodotta da ostacoli solidi; meno bene — forse — alcuni altri casi di riflessione del moto ondulatorio operata dall'aria e interessanti il funzionamento dei tubi sonori. Da tempo era stabilita la teoria dell'eco, e non avevano misteri i *gabinetti parlanti*: l'eco della Simonetta e la possibilità di conversare a voce tutt'affatto sommessa tra l'una e l'altra estremità della Galleria di Gloce-ster — a 25 tese di distanza — erano spiegate. Si applicavano, anzi volentieri coteste cognizioni alla risoluzione di problemi molto curiosi: da più che un secolo il p. Kircher nella *Phonurgia Nova* aveva esortato gli architetti ad esperimentare le disposizioni da lui ideate perchè . . . . due principi potessero conversare tra loro pur rimanendo in camere rispettivamente lontane.

Pianta della Corte di Genetay, presso Rouen al principio del secolo XVIII, celebre per singolarità acustiche.

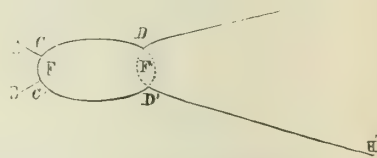
Dalla Tav. XXVII della *Collection Académique* T. III. comprend. gli anni dal 1710 al 1713.

Legg. esplic. — *H* ingresso; *I,I* pareti; *ADB*, tratto destinato a chi ascoltava

Effetti acustici: « Celui qui chante se met à l'endroit marqué *G*, et ayant le visage tourné vers *H*, il parcourt en chantant l'espace *GF*, qui est de 20 à 22 pieds de longueur.

Celui qui chante étant en *G*, l'écho s'entend en *L*, comme s'il y avoit plusieurs voix. Celui qui chante s'avançant vers *E*, ceux qui sont en *D*. entendent l'écho comme s'il approchoit d'eux; et la voix étant en *E*, ceux qui sont en *D* l'entendent comme si elle étoit à leurs oreilles et n'entenden point la voix directe, tandis que celui qui chante s'entend, et n'entend point l'écho. Celui qui chante continuant de s'avancer vers *F*, l'écho semble s'éloigner de plus en plus au-delà de D. Lorsque la voix est en *F*, on ne l'entend plus en *D*, mais seulement en *A*, comme si l'on chantoit à gauche, et en *B* comme si l'on chantoit à droite, et encore trés-foiblement ».

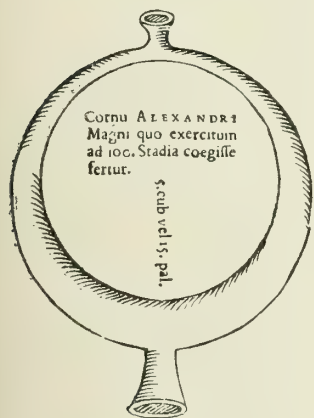
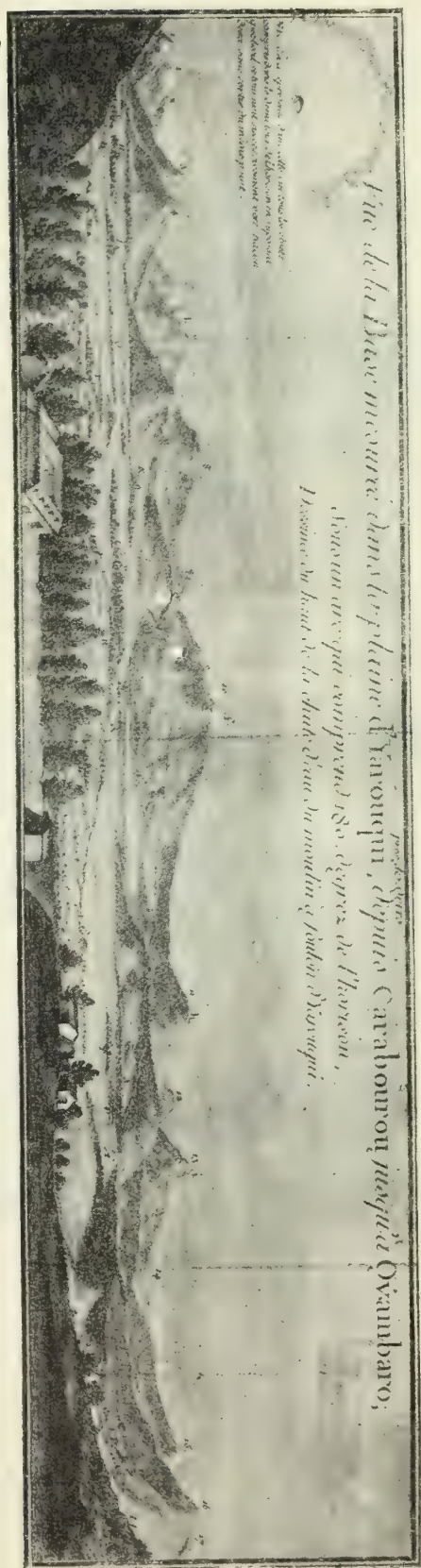
Nel settecento stesso si erano studiate le particolarità acustiche di molte costruzioni: cogli studi su la cattedrale di Girgenti, finiva quel secolo che — per coteste questioni — era cominciato con quelli su la Corte di Genetay presso Rouen presentante tanta complessità di effetti acustici.

Come, pertanto, si potevano assegnare norme per costruire edifici che presentassero coteste singolarità, si sapeva fabbricar bene il cornetto acustico, e Hase nel suo *De tubis stentoreis eorumque constructione*, aveva indicato una combinazione di superfici elissoidali e paraboliche, atta a dare al portavoce la costruzione teoricamente migliore; una costruzione da cui dovevansi ottenere di certo risultati ben più vantaggiosi che non si avessero dagli altri tipi antecedenti, a cominciare da quello con cui si dice — non oseremmo assicurare dell'autenticità della notizia — che Alessandro Magno chiamasse a raccolta le truppe sparse a distanze enormi.

Il portavoce di Hase. (Lipsia, 1719).

Invece non si era affatto studiato il fenomeno della rifrazione. Misure molte, all'incontro — su le quali è necessario fermarsi — erano state eseguite intorno alla velocità con cui il suono si propaga nell'aria.

Ne avevano aperto la serie — diciamo così perchè non possono mettersi in conto quelle troppo vaghe che il Mersenne cita come eseguite al principio del secolo XVII — gli Accademici del Cimento basandosi sul fatto

notissimo del decorrere tempo tra i momenti in cui dello sparo di un'arme da fuoco lontana si percepiscono la luce e il rumore, e su l'altro fatto che — potendosi, praticamente, trascurare il tempo impiegato da quel lampo nel giungere all' osservatore — il ritardo del rumore viene a rappresentare il tempo impiegato dal suono nel percorrere la distanza tra l'arme e il luogo ove sta l'osservatore. Quegli Accademici avevano constatato che, per la distanza di un miglio, l' intervallo di tempo era stato di 10 intere « vibrazioni di Dondolo » da mezzo minuto secondo, e di 5 per quella di mezzo miglio. Anzi, avendo in alcune prove usato tre differenti generi di *pezzi*, « una Spingarda, uno Smeriglio ed un Mezzocannone situati a tre miglia di distanza dal luogo dell'osservazione donde si scopriva benissimo il lampo che fa la polvere nell' allumare il pezzo » avevano constatato che da cotesto lampo « all'arrivo del suono » si era contato « sempre egual numero di vibrazioni al Dondolo dell' Orivolo, o fosse il tiro della Spingarda, o dello Smeriglio o del Mezzocannone, e ciò in qualunque direzione di Canna che avessero i detti Pezzi ».

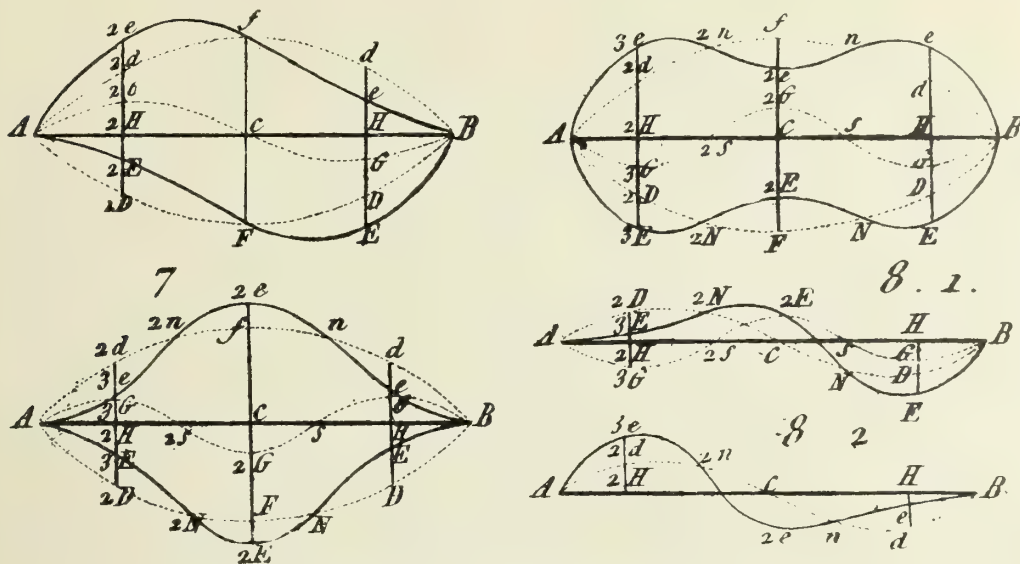
E oltre a queste, cui ci parve doveroso dedicare qualche parola perchè furono e le prime meritevoli di considerazione, ed eseguite in Italia, e condotte con sagacia degna dei discepoli del Galilei, si hanno pure quelle eseguite intorno alla stessa epoca dal francescano Mersenne, e — sempre anteriormente al secolo XIX — secondo lo studio accurato di G. Moll — professore di fisica all'Università di Utrech — e di Van Beek — pag. 476 del t. V, anno 1825, degli *Annalen der Phisik und Chemie* — le altre di Walker nel 1698, di Cassini e Huyghens di Flamstead e Halley, di Derham nel 1704-05, Bianconi nel 1740 — che primo notava la influenza del vento, e come il suono si propagasse più veloce in aria a — 35° che non in aria a di 1°, 5 — Mayer nel 1778, Müller nel 1791, Espinosa e Bauza nel 1794 a Santjago.

Il grande corno da campo di Alessandro Magno.
Disegno trovato nel *Secreta Aristotelis ad Alexandrum Magnum* della Vaticana, e ricostruzione ideale. *Kircher Phonurgia Nova*, *Campidonae*, 1673, pag. 132 e 133.

In cotesto elenco due ne devono essere intercalate, le quali, in realtà, non mancano in quello di Moll e Van Beek, ma che abbiamo stralciate perchè meritano menzione speciale.

Le prime furono compiute da Cassini e La Caille — sotto la direzione di Maraldi e de Thury — per decisione dell'*Académie Royale des Sciences* di Parigi: sono riportate nelle pubblicazioni accademiche riguardanti il 1738. Esse avevano avuto per punto centrale l'Osservatorio di Parigi che era « comme le centre d'un grand nombre de lieux, dont à l'occasion de la meridienne de la France, et depuis peu du parallèle de Paris, les distances ont été mesurées par des opérations trigonométriques ». Di più, nota la *Collection Académique*, t. VIII, pag. 27, « il y a tel de ces lieux qui en voit un autre éloigné de huit lieues, et en cas de besoin on en pouvoit lier encore quelques-uns à ceux que l'on avoit déjà par les anciens triangles. On eut un nombre suffisant de personnes accoutumées à observer, que l'on pouvoit placer dans le même temps en différents postes, M. Maraldi et de Thury étoient à la tête, et tout répondoit à l'observatoire comme à une métropole de colonies ».

Da quelle misure, di cui — come si vede pure da cotesti particolari — il piano era stato molto bene studiato, e che erano state continuate per parecchie notti, era risultato che il suono si trasmette con moto uniforme, che la sua velocità cresce con l' elevarsi della temperatura, che la velocità del vento, secondo il senso relativo « l'augmente ou la diminue de toute celle qu' il a lui-même » come nel caso « d'un corps que se meut dans un bateau qui se meut aussi », e finalmente che la stessa velocità è di centosettantatre tese per minuto secondo alla temperatura di 0° C.

Le altre a cui abbiamo alluso furono eseguite pressapoco alla stessa epoca e sono memorabili nella storia

Le località in cui fu fatta da *de la Condamine* e *Bouguer* la determinazione della velocità del suono nel 1740.
Riprod. della Tav. II dell'ediz. orig. del *Journal de Voyage* di *de la Condamine. Paris, 1751. Imprim. Royale* (© Arcito ◆ Goapulo)

della scienza perchè si collegano ad un grande lavoro, la misura delle dimensioni della Terra. Esse sono dovute alla spedizione inviata da Luigi XV nelle regioni equatoriali del nuovo mondo per la misura dei tre primi gradi del

Forme di una corda vibrante trasversalmente, secondo Chladni.
Dalla Tav. I. dell'ediz. orig.del *Traité d'Acoustique*. Parigi 1809.

meridiano, composta da de la Condamine, Bouguer e Godin. Quest' ultimo aveva tentato nel 1737 di determinare la velocità del suono valendosi di spari di un cannone fatto porre su una collina vicina a Quito, e dalla quale egli era lontano 19000 tese. La distanza eccessiva aveva però impedito che i colpi venissero uditi da Godin, e così l'esperimento non era riuscito ad alcun risultato. Ne ebbe invece uno ottimo quello eseguito da de la Condamine e Bouguer il 26 ottobre del 1740, tra le stazioni di Quito e di Goapoulo, su una distanza di 10540 tese; distanza grande, per percorrere la quale il suono impiegava più di 60 secondi — rendendosi così assai piccolo l'errore sulla valutazione del tempo. —

La quantità e la mole di cotesti lavori intesi solo a determinare un numero, che, se è oggi uno dei più importanti per la fisica, non poteva apparire così nello stato delle cognizioni generali a quei tempi — sono tali che varrebbero da soli a rendere notevole il lavoro compiuto nel campo degli studi su l'acustica teorica avanti il secolo XIX.

Il primo esperimento di Chladni, come è descritto da lui stesso: 1 lastra di vetro impolverata, 2 le linee *nodali* nelle quali si raccoglie la polvere dopo il colpo di archetto.

Ma su quanti altri punti eransi fissati matematici e sperimentatori!

Le pubblicazioni accademiche di Pietroburgo, Berlino, Parigi, Padova, Bo-

logna, Torino, il *Journal de l'École Politechnique*, le *Philosophical Transactions* il *Voigt's Magazine*, le *Göttingische Gelehrte Anzeigen*, tutti insomma i periodici scientifici del secolo XVIII, contengono numerosi gli studi sul suono, come numerosi sono i fatti ed i principî che si trovano sparsi nelle opere dei matematici e dei fisici di quei tempi, o pubblicati in monografie staccate.

Nel complesso i fondamenti ed i particolari dell' acustica vi si trovano sviluppati così che nel 1802 il Chladni poteva ridurre a sistema tutti cotesti studî pubblicando l'edizione tedesca di quel suo trattato di Acustica — di cui fece poi egli stesso la traduzione francese, comparsa nel 1809 e dedicata a « Napoléon le Grand » — cui rimarrà sempre il vanto di opera tra le migliori pubblicate nel campo della fisica, e che oggi ancora — ad un secolo di distanza — può venire consultato con vero profitto.

Riassumiamo cotesto lavoro dei secoli antecedenti, specialmente quello del XVIII.

Bernoulli aveva stabilito nel 1762 le leggi delle vibrazioni dell' aria nei tubi sonori, su le quali era noto che i dati della teoria presentavano disaccordi con la realtà. Il Bernoulli stesso, poi, aveva avuto l'idea di misurare la velocità del suono col far cantare delle canne da organo e determinare le dimensioni di queste, o — meglio — la distanza tra due ventri consecutivi.

Anche delle vibrazioni trasversali delle corde le leggi erano conosciute, e si sapeva pure che, mentre vibra la corda intera, possono vibrare separatamente le parti aliquote, così che la corda assume forme svariatissime nelle diverse fasi delle vibrazioni secondo il modo con cui è toccata. A determinare coteste forme i fisici erano giunti mediante il ragionamento: nel secolo XIX soltanto poterono essere studiate sperimentalmente con quei metodi veramente interessanti di cui parleremo più avanti.

E non solo delle vibrazioni trasversali delle corde si era fatto lo studio; ma pure di quelle longitudinali, e di quelle — di entrambe le specie — delle verghe. Il Chladni aveva anzi ideato di valersi delle « vibrazioni longitudinali dei corpi rigidi » per determinare la velocità di propagazione del suono nei solidi, ed aveva stabilito che il suono si propaga in essi più rapidamente che nell'aria — sette volte e mezza nello stagno, nove nell'argento, dodici nel rame, circa diciassette nelle varie specie di legno,

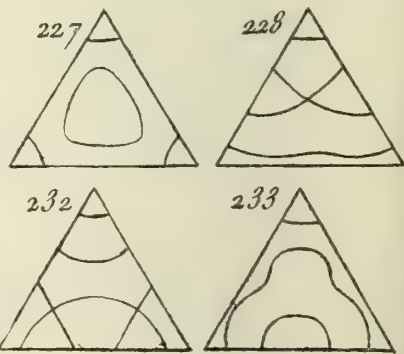
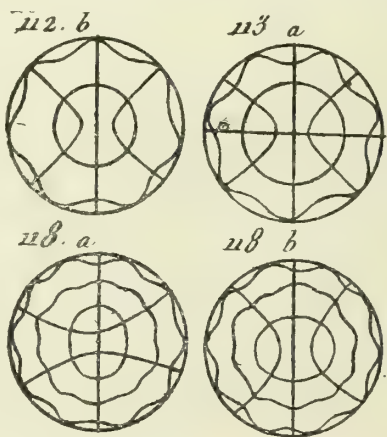
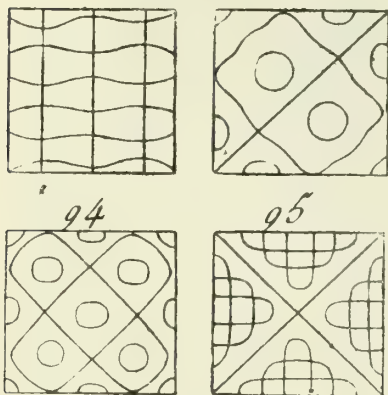
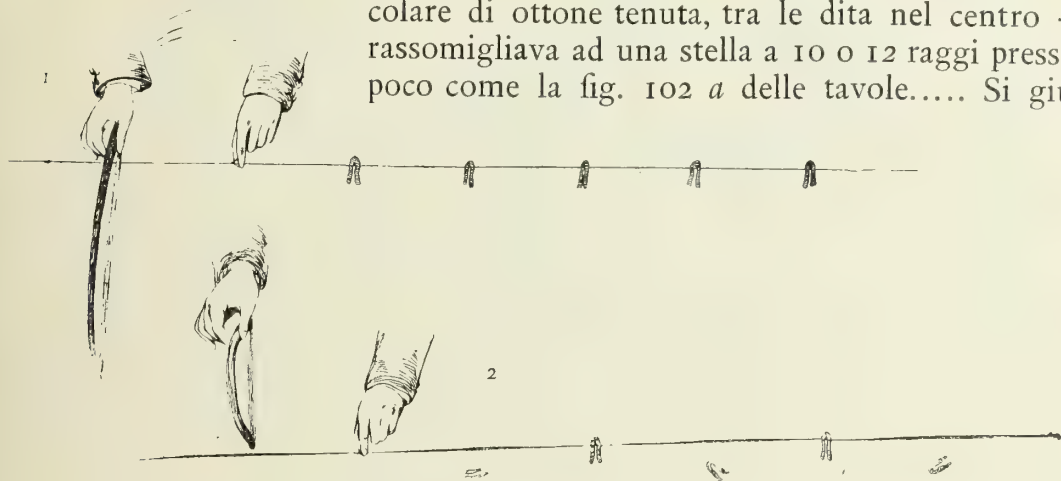



Figure di Chladni.
Dalle Tav. 4,5,7 della ediz. orig. del *Traité d'Acoustique*, Parigi. 1809.

e da dieci a dodici nella terra cotta —: determinazioni, coteste, tanto più degne di nota perchè su l'argomento forse non si avevano, al principio del secolo XIX, altri lavori all'infuori di quello assai imperfetto del Wünsch — professore a Francoforte su l'Oder — comunicato nel 1793 all'Accademia di Berlino, e di quello di Herhold e Rafn di Copenaghen relativo a misure su un filo lungo seicento piedi danesi.

Il Riccati, nel 1786, aveva dato leggi e formole per alcuni casi delle vibrazioni delle membrane tese, e il secolo XVIII si chiudeva con le brillanti ricerche del Chladni su quelle delle lamine, ricerche per le quali egli aveva avuto l'idea di valersi delle polveri pesanti. « Le esperienze con le figure elettriche che si formano su una lamina di resina impolverata pubblicate da Lichtemberg — scrive appunto il Chladni — mi fecero presumere che anche i differenti moti vibratorî di una lamina sonora dovessero offrire delle apparenze diverse, ove si spandesse, sulla superficie della sabbia o qualche altra materia simile. Servendomi di questo mezzo, la prima figura che si offrì ai miei occhi su la lamina rotonda.... — era una lamina circolare di ottone tenuta, tra le dita nel centro — rassomigliava ad una stella a 10 o 12 raggi pressapoco come la fig. 102 *a* delle tavole..... Si giu-

L'esperimento di Sauveur: 1 prima del colpo d'archetto; 2 dopo il colpo.

dichi del mio stupore nel vedere questo fenomeno che nessuno ancora aveva veduto mai. Dopo avere riflesso su la natura di questi movimenti, non trovai difficile il variare ed il moltiplicare le esperienze, i risultati delle quali si succedettero abbastanza rapidamente. La mia prima Memoria contenente ricerche su le vibrazioni di una lamina rotonda, di una lamina quadrata, di una campana, ecc., fu pubblicata a Lipsia nel 1787... ».

Le esperienze del Chladni si ripetono pur oggi nei corsi, e sono sempre tra quelle che eccitano maggiormente l'ammirazione, non solo di chi le vede per la prima volta, ma anche di chi le eseguisce per la centesima. La perfezione geometrica delle linee nelle quali si raccoglie la sabbia — che, cacciata dalle parti in cui la materia vibra, si ammassa su le linee nodali — la varietà ed eleganza dei disegni, la rispondenza costante di una data figura ad un dato suono e la mutazione al mutare di questo, fanno di coteste esperienze uno dei mezzi coi quali si rivelano in un modo geniale e stupefacente le meraviglie della natura nei moti vibratorî dovuti alla elasticità.

Un altro tra i più suggestivi esperimenti che si ripetono nei corsi ha per oggetto di rendere evidente il fatto che, ove si eccitino le vibrazioni in una parte aliquota di una corda musicale — col renderne immobile un punto

Valutazione musicale del canto del gallo, della gallina, del cuculo e della coturnice.
Kircher, *Musurgia Universalis.* Roma 1650, pag. 30.

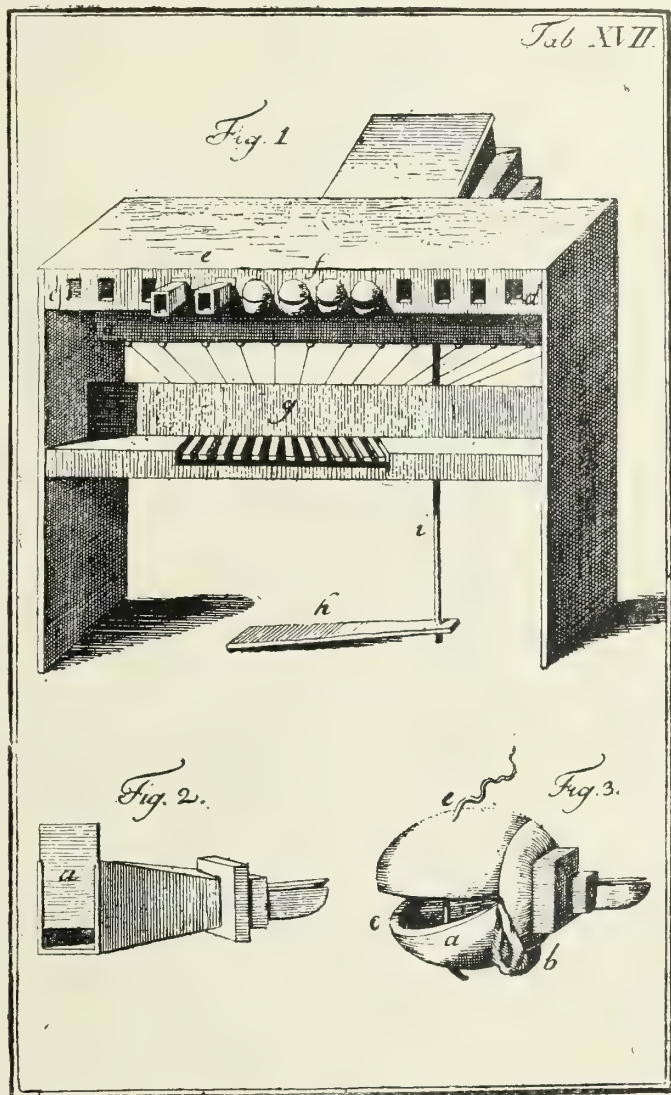
posto a metà, ad un terzo, ad un quarto, ecc., della corda e suscitare poi il moto vibratorio nella parte corrispondente — la rimanente si divide spontaneamente in tante concamerazioni vibranti, ciascuna delle quali è uguale a quella fatta vibrare direttamente. Fu Sauveur nel 1701 il primo ad osservare questa proprietà, e di Sauveur, che con esso eccitò lo stupore dell'Accademia di Francia, è il metodo con cui ancora oggi la si rende evidente nei corsi, e consistente nel porre dei pezzettini di carta a cavaliere della corda nei punti in cui dovrebbero formarsi i ventri ed i nodi — pezzettini, tra i quali rimangono poi immobili quelli collocati nei nodi, mentre sono proiettati a distanza gli altri —.

E pure del secolo XVIII è il primo esperimento di fiamme cantanti: lo aveva fatto l'Higgins — 1777 — con l'accendere un sottile getto d'idrogeno al fondo di un lungo e sottile tubo verticale di vetro: è la forma con cui si riproduce tutto giorno nei corsi il gemito della scialba fiamma di quella che — sarebbe difficile dirne il perchè — venne chiamata *lampada filosofica.*

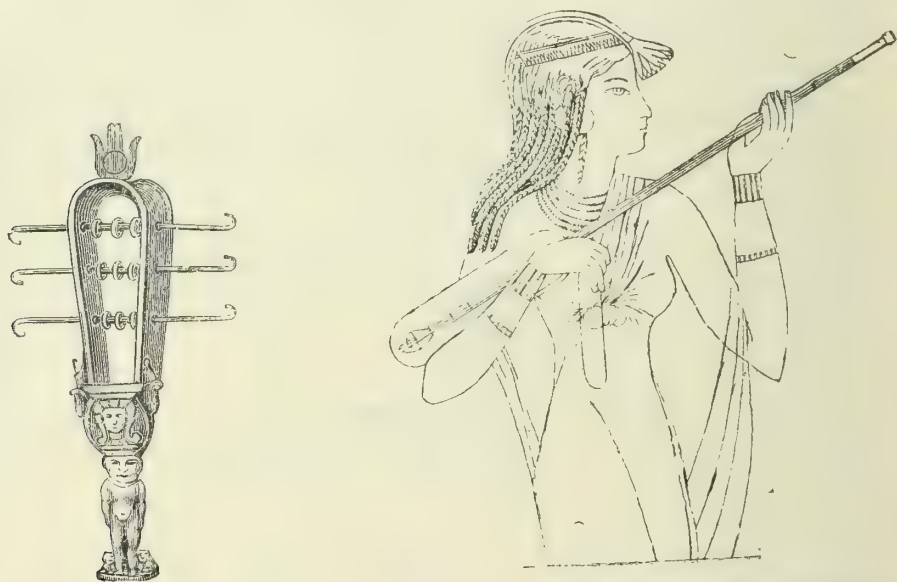
Un punto, invece, sul quale non si aveva idea alcuna è quello della causa del *timbro* dei suoni, ossia di quella qualità che ci fa distinguere gli individui dalla voce, e per la quale possiamo stabilire — senza vederlo — la natura dell'istrumento cui è dovuta una data nota.

Tutte le cognizioni si riducevano a ritenere che dipendesse dalla materia del corpo sonoro e di quello con cui venivano eccitate le vibrazioni; nulla più di questo.

Nessuna idea dunque di quei fatti che diedero l'analisi meravigliosa del linguaggio umano. Su di esso, ai fisici, che pure se n'erano occupati — non erano, anzi, rimasti senza esame i suoni stessi dati dagli altri animali, cosicchè, ad esempio, il p. Kircher aveva pubblicato nella *Musurgia Universalis* curiose valutazioni musicali su le voci degli uccelli — ancora alla fine del secolo XVIII — possiamo aggiungere: durante una parte notevole del XIX — non eravi di noto altro che la differenza negli atteggiamenti delle corde vocali e dell'apparato boccale; differenza che costituisce in parte il meccanismo con cui proferiamo le differenti vocali, non vale a spiegare la loro varia formazione.

Si sentiva però tutto l'interesse del problema, cosicchè l'Accademia di Pietroburgo proponeva, nel 1780, la *formazione e l'imitazione artificiale della voce umana* come tema di concorso a premio; premio che venne riportato dal Kratzenstein con quella memoria *Tentamen resolvendi Problema ab Academia Scient. Imp. Petropolitana ad annum 1780 publice propositum*, che va segnalata come lavoro molto diligente, pieno di finissime osservazioni, e ricco di nuove idee sui tubi ad ancia. Ricorderemo ancora come von Kempelen fosse giunto a costruire una macchina parlante, nella quale dei pezzi elastici imitanti gli organi vocali venivano messi in azione mediante un piccolo mantice. Di essa gli studiosi contemporanei dissero bene, e soddisfattissimi furono gli Accademici di Pietroburgo dell'organo *a voce umana* che il Kratzenstein aveva presentato insieme alla sua memoria. Non vi è però in ciò che la riproduzione — più o meno perfetta, complicatissima sempre — della voce. Sul linguaggio le cognizioni si riducevano al sapersi che le vocali « consistono — diceva il Chladni, il più dotto e profondo trattatista degli albori del secolo XIX — in differenti rapporti dell'apertura degli organi esterni ed interni ».

La macchina parlante di Volfango von Kempelen.
Dall'ediz. originaria dell'opera *Mechanismus der Menschlichen Sprache*, Vienna 1791. — Fig. 1, La macchina nel complesso: — Fig. 2, Tubi ad ancia destinati a fare la parte delle corde vocali e della gola: — Fig. 3 Cavità boccale.

Molto progredita era invece la parte dell'Acustica che più strettamente si collega con la musica: nè ciò deve sorprendere quando si ricordi che già si trovano nell' antica civiltà greca studî veramente mirabili sui suoni musicali e sui loro rapporti. In particolare vuol essere notato che le complesse questioni riflettenti il temperamento della scala erano già state — si può dire — sviscerate completamente alla fine del secolo XVIII, ed era canone stabilito che l'accordo di diverse note è tanto più aggradevole quanto più semplici sono i rapporti tra i loro numeri di vibrazioni; fatto cotesto, che rivela una volta di più come le stesse leggi abbia il bello in tutte le svariatissime forme sotto cui si presenta; sia essa la soluzione di una questione di matematica o l'opera dello scalpello, la invenzione scientifica od il lavoro letterario.

Su cotesta semplicità nei rapporti dei suoni è ancora a notarsi che prima

Arte egizia: — 1. Sistro; 2. Suonatrice di mandola, epoca della 18.ma dinastia (dalla necropoli di Tebe).

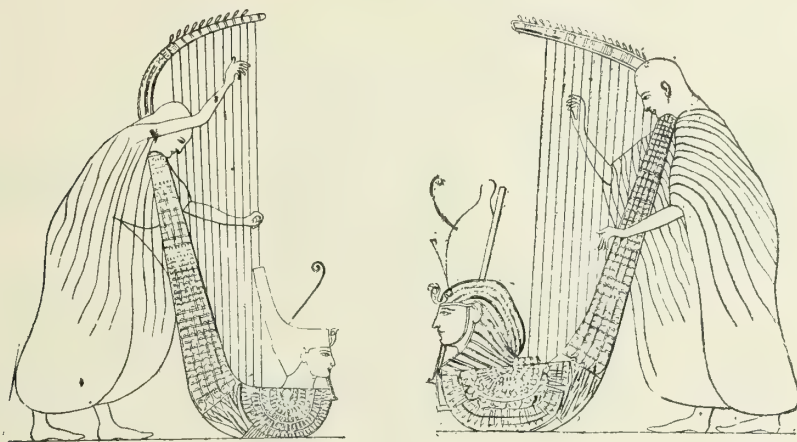
del secolo XIX era già consacrata dall' uso la denominazione di *armoniche* per dinotare l'ottava, la quinta dell'ottava, la doppia ottava, tutti insomma quei suoni che hanno ad un altro un rapporto espresso da un numero intero, e che — per cotesta semplicità di rapporto — formano, generalmente, con esso un insieme la cui impressione è gradita, formano una consonanza.

* * *

Quanto agli istrumenti musicali, la loro storia — storia veramente universale — era, al principio del secolo XIX, troppo antica perchè — fatto notorio — non vi fosse già, di essi, un numero rilevante portato a grado altissimo di perfezione. La musica è un bisogno per l'anima umana, della quale sa esprimere i moti più intensi, le più violente passioni. Vi è egli di che meravigliarsi perchè dopo le rozze selci e quel che l'uomo primitivo inventa spinto dalle prepotenti necessità della vita, compaiano presso tutti i popoli gl'istrumenti musicali?

Sono essi tra i primi segni embrionali di civiltà, e nell'armonia degli elementi della vita dell'uomo e di quella della natura è tale la parte loro, che fu pensato la natura stessa li avesse additati all'uomo.

..... I sibili del Zefiro spiranti
Tra' bugj tronchi de le canne istrussero
I contadini ad animar le pive,

canta Lucrezio (1). Che se l'origine da lui assegnata al più semplice tra gli

Arte egizia: — Sacerdoti arpisti.
Pitture della tomba di Ramsete IV, primo re della XIX dinastia, cominciante nel 1474 a. C.

istrumenti musicali è ardita, è pure unicamente, in fondo, forma data ad una tradizione, che — varia nei particolari — si trova presso molti popoli, e fa maestra della musica all'uomo appunto la stessa natura; la natura, in cui hanno la loro musica e ruscelli e torrenti e mare e atmosfera e foreste e monti e, quanti sono, i viventi.

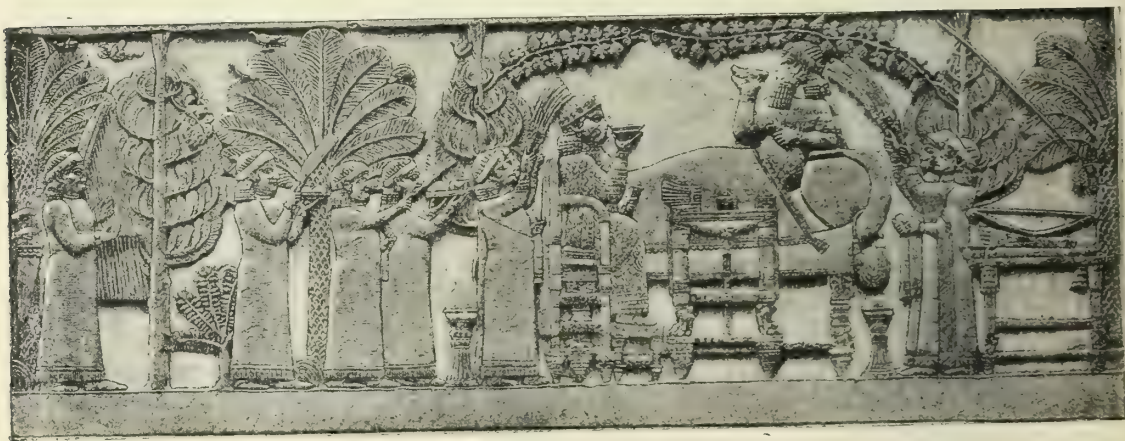
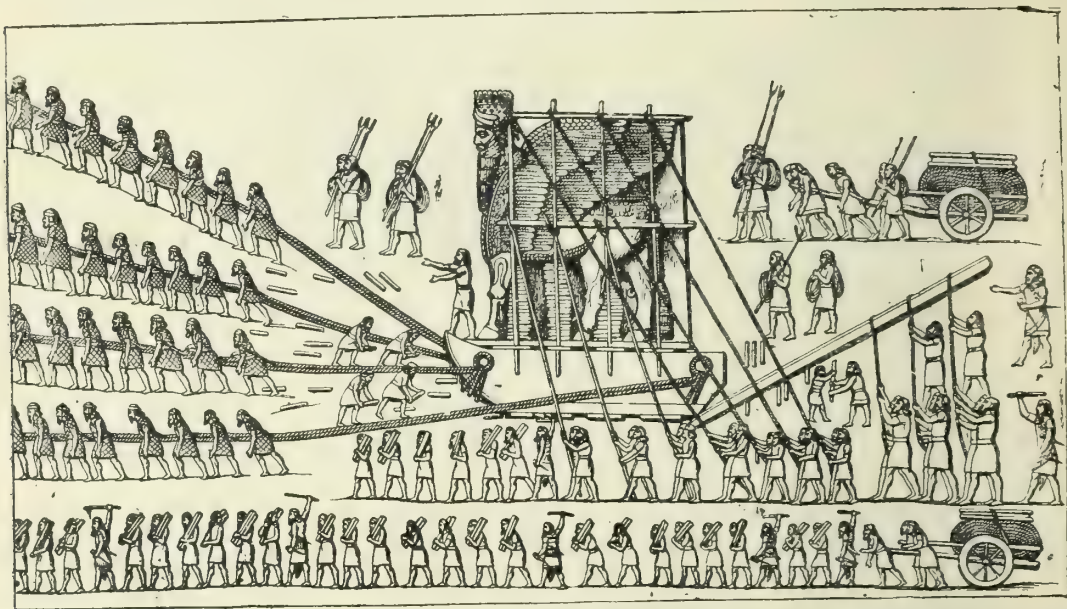
Comunque sia delle origini, certo si è — per quanto ne tramandarono le arti figurative — che già in epoche ben remote si era conseguita una grande perfezione e vera eleganza: basta ricordare i sistri, le mandole, le arpe della civiltà egiziana. Presso gli Assiri medesimi, che pure a suon di mano — e più, forse, a colpi di nerbo — facevano trasportare i loro colossi, l'arpa dalle molte corde animava nelle spedizioni i guerrieri, e, nei giardini pensili, allietava la mensa regale.

È storia piena di poesia e d'interesse, quella degli istrumenti musicali; è storia che evoca memorie di pianti e di gioie, di cavalleria la più sentimentale e di brutalità la più selvaggia, di idillî pastorali e di pomposi convegni in corrotte sale dorate. È, si può dire in un certo senso, un grande elemento della storia morale dei popoli.

Essa ci farebbe sfilare davanti agli occhi le più antiche civiltà dell'oriente con delle figure veramente degne di nota. Ricordiamo l' imperatore chinese — Fou Hi I, oltre 3500 anni a. C. — inventore del *Sse* — la chitarra dalle 36 corde — e del *Kin* — la gigantesca lira di oltre due metri e mezzo —; ricordiamo Yan, che — 2360 anni, circa, a. C. — fuori della porta del palazzo imperiale aveva collocato il tamburo, su cui, per avvertire il sovrano, doveva battere chiunque avesse notato — su la tavoletta vicina — cosa al-

(1) Lib. V, vers. del Rapisardi.

cuna riputata utile all'impero o difettosa nell'andamento del governo; ricordiamo Ravana — il sovrano di Ceylan — da cui ebbe nome il *ravanastron,* il più antico istrumento ad arco di cui si abbia notizia.

Pur limitandola all' Europa, ci mostrerebbe i Lacedemoni muovere alla guerra al ritmo dei flauti, e gli Etruschi al medesimo suono battere gli schiavi e farsi il pane; Greci e Romani attendere lo squillare delle trombe per attaccare la battaglia, e i gladiatori combattere nel circo al suono dell'organo idraulico — l'*hydraulus* —.

Arte assira: — 1.° Trasporto di un colosso. — 2.° Un banchetto di Assurbanipal in un giardino pensile del palazzo di Kujundscik.
1. Dagli scavi di Kujundschik — 2. Ora nel *British Museum.*

Ci parlerebbe di bardi e menestrelli e troveri accompagnanti le canzoni col *cruth* dalle tre corde, col *telynn* — l'arpa dei cantori del nord — o con la *viella,* il dolce strumento che, dopo essere stato interprete delle anime appassionate nei tempi delle leggende cavalleresche, si tramutava nella viola, e, di mutazione in mutazione, originava — alla fine del secolo XV — il primo

quartetto d'arco — formato da due *viole da braccio*, il *soprano* e il *tenore* o *alto*, e da due *da gamba*, il *basso* ed il *violone* — preparando la via all'apparizione — nella prima metà del XVI — del principe degli istrumenti ad arco, il violino.

Ci direbbe grandi cacce di gaudenti spensierati, iniqui supplizi, eroiche rivendicazioni di libertà di popoli: richiamerebbe alla fantasia gli striduli suoni della ingenua savoiarda, lo squillare delle *trombe angeliche* dalla cupola di Michelangelo, la poesia delle note e dei sospiri vaganti, nelle tenebre ricche di misteri, per i canali della laguna bella.

Arte assira
Suonatori con psalterio e plettro.
Dalle sculture del Palazzo di Nimroud, ora al *British Museum*.

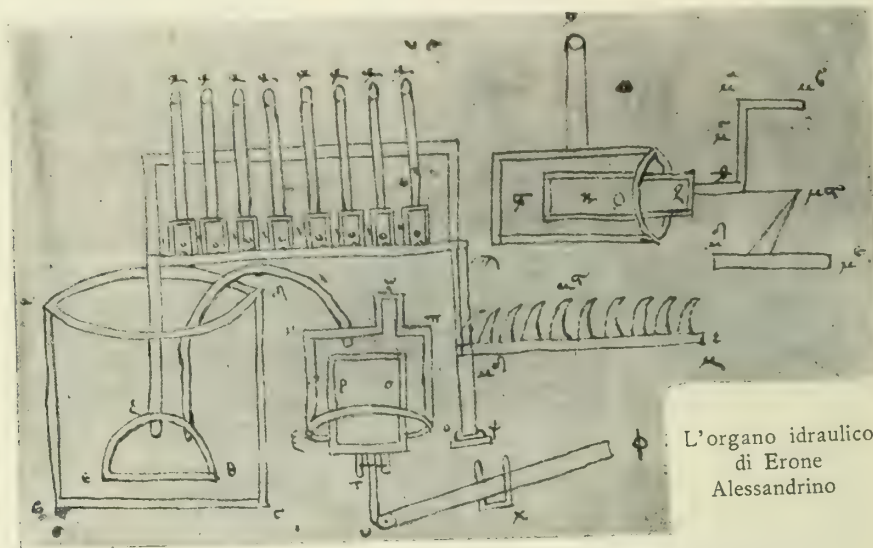
Ne mostrerebbe i furori vandalici del fanatismo portato dalla Riforma, nei frammenti degli organi maestosi — già vanto dei tempî fiamminghi — trascinati per le vie, sozzamente profanati; e, con quelle aberrazioni, stranezze ben curiose della mente umana, quali le mastodontiche campane di Mosca e di Pekino, o il *clavicembalo oculare* del Padre Castel, in cui l'apparice dei colori contemporaneo al prodursi delle note — del turchino col *do*, del verde col *re*, del giallo col *mi*, e via dicendo — doveva creare una fonte nuova di diletto facendo che venissero contemporaneamente ricreati due sensi; precisamente come doveva aversi mediante il *clavicembalo dei sapori* — dell'abate Poncelet — in cui ad ogni nota corrispondeva una fiala contenente un liquido

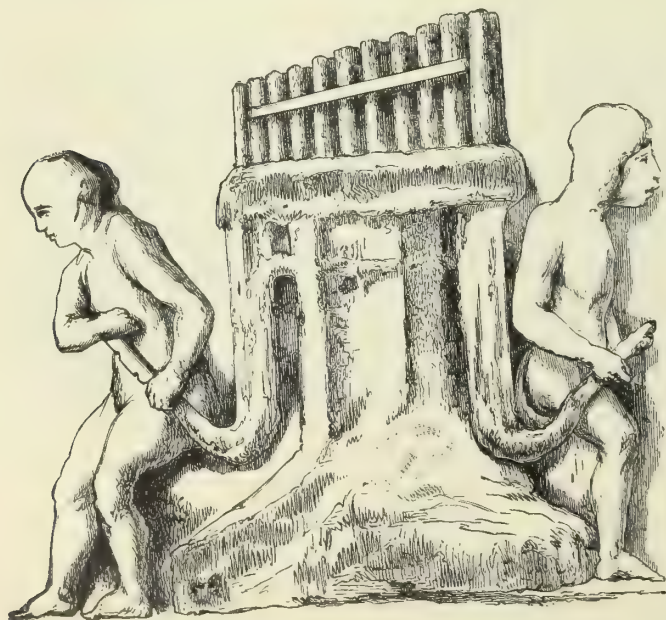
Arte assira: — Arpisti nella marcia della spedizione di Assurbanipal contro Té-ummann re di Susa.

di gusto particolare — piccante per il *si*, amaro per il *fa*, e così via, per cui ad esempio, l'accordo perfetto maggiore *do mi sol* doveva prodursi contemporaneamente ai tre sapori: acido, dolce, agro-dolce. —

Ci narrerebbe le mostruosità a cui nel secolo XVI e XVII si era giunti nella costruzione e decorazione del più meraviglioso, del più completo tra gli istrumenti musicali, l'organo: figure di angeli con trombe che essi, a piacere dell'organista, si portavano alla bocca, o agitanti dei campanelli, o battenti dei tamburi; soli, lune, stelle mobili, la cui mercè risuonavano cimbali e....

chicchi di gragnuola; aquile agitanti le ali e volanti contro i soli; e poi il cinguettio degli uccelli e la voce monotona del cúculo, e, sopra tutto cotesto, un grande angelo in atteggiamento di direttore d'orchestra e che, a piacere

L'organo idraulico di Erone Alessandrino

Da fotogr. del codice greco membranaceo. *A. 91 sup.* dell'Ambrosiana di Milano.

doveva battere il tempo. Nella costruzione dei *giuochi* poi, abbastanza comune il *fuchsschwanz*, destinato a buttare appunto una vera coda di volpe su la faccia dell'imprudente che avesse toccato il relativo registro; ovvero *giuochi* come

Organo pneumatico del IV secolo.
Da un monumento gallo-romano conservato al Museo di Arles. Riprod. dal Rambosson, *Les Harmonies du son*, Firmin-Didot et C.ie.

Hydraulus.
Riprod. da un contorniato con l'effigie di Nerone, esempl. del Gabinetto Numismatico di Milano.

quelli che — secondo ricorda il Couwenberg — avevano imposto a Francesco *des Oliviers* — nel 1551 — i canonici di S. Stefano di Troyes, e tra cui, ad esempio, dovevano esservi « *ung chantant comme pélérins qui vont à St. Jacques avec voix tremblante, ung de fifres d'allemands sonnant en une bataille.. une voix*

de rossignol se mouvant et battant des ailes comme s'il estait en vie,... ung St. Etienne se mouvant comme s'il estait en vie, et — accenno stravagante come il resto al martirio del santo patrono, — *deux figures à ses costes tenant chacune une pierre à la main comme s'ils voulaient le lapider* ».

Ma per quanto cotesta storia sia interessante, dobbiamo lasciarla, rimandando alle opere magistrali di Vidal, di Couwenberg, di Fétis, di Rambosson, di Marmontel, di Commettant, od alle belle monografie del Gandolfi.

Non possiamo tuttavia esimerci dal notare come essa — appunto perchè tanto si collega con quella della vita e delle vicende dei popoli — è scritta ovunque nei documenti del passato; nei marmi dei monumenti maggiori, nelle fragili crete, nella pergamena delle miniature delicate, nei tessuti degli arazzi, nelle tavole, nelle tele, negli affreschi dei grandi maestri.

1.° 2.°

1.° — *Crouth* del X sec. da un ms. della Bibl. Nat. di Parigi « fonds latins » N. 1118 p 104, XI sec.
2.° — *Crouth* inglese del sec. XVIII dal Vol. 3 della *Archeology* pubbl. dalla Soc. of. the Antiq. of London, 1775.
Tav. III Tomo I del Vidal, *Les Instr. à Archet*, per gent. conc. delle Sig. V. Vidal e V. Hillemacher.

Che se in cotesti tesori dell'arte riscontriamo con frequenza anacronismi sbalorditivi — suona la viola Apollo nel Parnaso delle *Stanze* di Raffaello — abbiamo in essi, appunto per cotesti anacronismi, un materiale prezioso per quel che riguarda tipi e forme, poichè quasi sempre gli istrumenti raffigurati sono quelli del tempo in cui viveva l'artista.

Mirassero ad illustrare fatti storici e costumi, mirassero a far più gentile la parte decorativa, gl'istrumenti musicali si trovano dunque rappresentati con una grande frequenza; nè sarebbe difficile compilare un elenco di monumenti che rappresentino perfino quello che attraverso i secoli, ha costituito l'istrumentale di un concerto musicale completo.

Corni da caccia in avorio.
(Museo Storico di Stoccolma).

Però, mentre dobbiamo lasciare da parte cotesta storia, ci è pur necessario dire a quale punto fossero, alla fine del secolo XVIII, almeno i principali istrumenti.

Il violino aveva da un pezzo raggiunto la perfezione. Formatosi per una evoluzione di cui il Vidal indica tracce non dubbie nelle *échancrures* (manca la parola tecnica nella nostra lingua) dell' istrumento portato dalla figura ritta tra gli *Autori del psalterio del re Renato* — 1502 o 1503 — nelle *f f* di una viola rappresentata nel quadro dell'*Assunzione* di Raffaello, nella *voluta* di un manico di *viola da basso* in un dipinto del Giorgione, il violino aveva raggiunto la forma definitiva già tra il 1520 e il 1550 per opera dei liutai italiani, e — dopo i grandi miglioramenti, dovuti specialmente agli Amati di Cremona, a Gasparo da

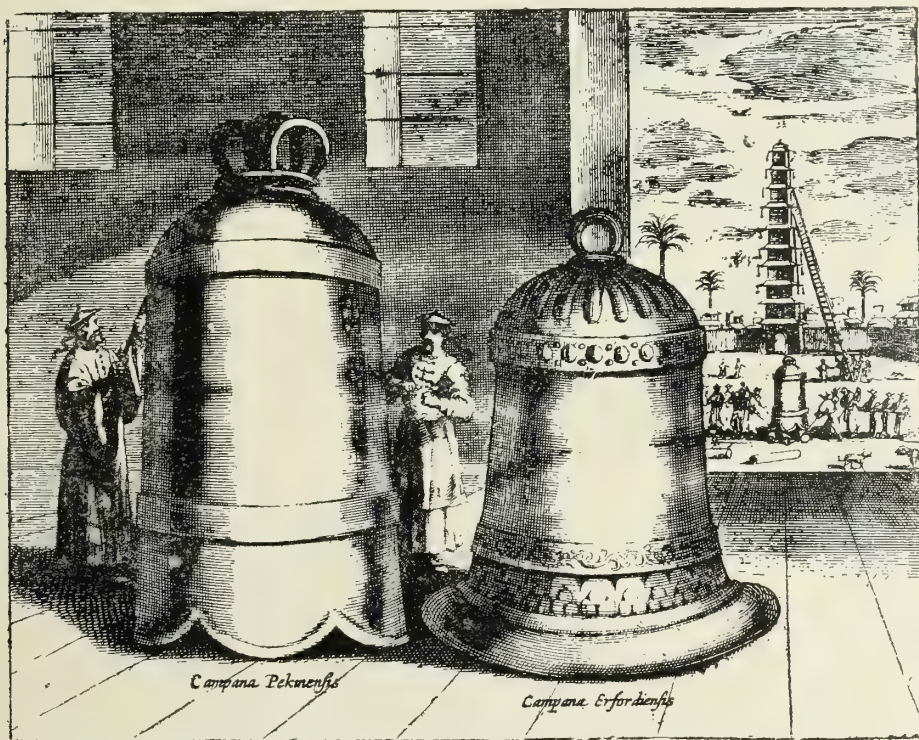
Salò ed a Paolo Maggini in Brescia — era arrivato all' apogeo tra il 1700 e il 1720 con lo Stradivari. Tutti gli studi teorici del secolo XVIII, a cominciare dai primi di Maupertuis che portavano a far le tavole di mille pezzi affinchè ciascuna nota potesse trovarne uno risonante perfettamente per essa, e venendo giù giù fino a quelli del Bagatella premiato nel 1786 dall'Accademia di Padova per la monografia « *Regole per la costruzione dei violini, viole, violoncelli e violoni,* » tutti cotesti studi, diciamo, non avevano potuto recare contributo di sorta.

Innovazione importantissima invece quella dell'arco, reclamata dalla grande

Il menestrello *Adenès li Rois* alla corte di Maria regina di Francia (seconda moglie di Filippo l'Ardito).
Dal *Romans de Cleomadès*, ms. del XIII secolo (1280 a 1290) Bibl. dell'Arsenale, a Parigi. Tav. XLVII, incis. di Hillemacher, T. I, del Vidal *Les instrum. à Archet*, per cort. concess. delle Signore V. Vidal e V. Hillemacher.

diffusione del violino verso la fine del secolo XVIII. Si fu appunto tra il 1785 e il 1790 che Francesco Tourte — dopo una lunga serie di tentativi pertinaci, da cui si toglieva solo per ricrearsi con la pesca — riusciva a costruire quei mirabili archi che non furono ancora superati. La bacchetta al principio del secolo XVIII aveva già perduto la forma di arco fortemente teso: era anzi divenuta diritta, ed era stata munita del bottone e della vite, mediante cui era possibile variare la tensione dei crini; verso il 1725 — per opera del Tartini — essa era divenuta meno pesante e più lunga, e ne era stata accorciata la testa. Ma non fu se non col Tourte che essa ebbe trovato la qualità di legno opportuna — quello di Pernambuco — e la forma e il calibro per cui l'arco — ridotto veramente elastico e leggiero — permise final-

mente al violino di spiegare le meravigliose, infinite risorse di cui è suscettibile. Al tramonto del secolo XVIII, pertanto, il violino si trovava in gran voga, riabilitato da quello spregio in cui lo aveva fatto cadere l'essere diventato istrumento di cui si valevano comunemente i suonatori da trivio: aveva riconquistato il pregio che gli era stato attribuito nei suoi primi tempi, e che lo aveva fatto figurare — 1550 — nelle feste offerte dalla città di Rouen ad Enrico II ed a Caterina dei Medici, e gli aveva aperto nel 1561 la porta alla Corte di Elisabetta d'Inghilterra.

Era invece sull'essere completamente abbandonata la *tromba marina*, che

1. — La campana in ferro di Pekino, simile ad altre otto in bronzo, fatte per ordine di *Yum-loo.* imp. nel 1403 (da schizzo del P Ferdinando Verbist, miss.° a Peckino nella prima metà del sec. XVII).
2. — La campana di Erfurd, che si reputava la più grossa del mondo.
Riproduz. del Kircher, *China Monumentis Illustrata*, Amsterdam, 1667.

aveva vissuto rigogliosamente in Italia, nel Belgio, nell' Olanda; che pare avesse deliziato in maniera particolare, con un quartetto rimasto celebre, gli abitanti di Londra verso la fine del secolo precedente; e che ancora nella seconda metà del secolo XVIII entrava a comporre la musica della « grande Écurie » del Re di Francia.

Quasi scomparsa la viella, che — dopo il decadimento nel secolo XV e nel XVI — aveva ripreso voga, ed aveva contato, pur nella seconda metà del secolo XVIII, una celebre suonatrice in Francesca Chemin — la protagonista della *Franchon la vielleuse* rappresentata al Vaudeville nel 1803 — che ne aveva fatto la indivisibile compagna della sua vita volgare e scandalosa.

Duravano ancora la *viola d'amore* che, appunto alla fine del secolo XVIII, rendeva celebre il Ganswind — di Praga — e la *viola di fagotto* o *di bordone*

Da un *officiolo* pergam. della sec. metà del sec. XV e di fatt. schiett. ital., prob. fiorentina.

Fig. 1. Fig. 2.

Istrumenti musicali nelle miniature.
1 e 2 da un *Livre d'heures*, pergam. di orig. e fatt. francese, probab. della Borgogna.
Tutti della Bibl. Ambrosiana di Milano.

illustrata dalle composizioni di Haydn e, nel 1785, dai concerti scritti da Frantz: non crediamo si parlasse più della *viola pomposa* che S. Bach aveva inventato nel 1720.

Il *claviciterio* e il *virginale* — vecchio frutto dei tentativi fatti già verso il secolo XIV per sostituire l'azione delle dita, o del plettro, su le corde della lira, del psalterion, dell'arpa, e che pure avevano rappresentato invenzioni di grande portata, non foss'altro perchè mettevano a disposizione del virtuoso molte ottave, e, per la possibilità di attaccare contemporaneamente parecchie corde, gli davano il mezzo di produrre armonie sconosciute ai vecchi strumenti a pizzico — erano scomparsi: lo era pure la *spinetta*.

Viveva ancora il *clavicembalo*, ma di quella vita che caratterizza l'estremo del tramonto dei grandi. Per quanto fosse stato perfezionato — la tastiera era arrivata ad abbracciare cinque ottave e mezza, e, per la eccitazione delle corde, non solo si erano abbandonate le punte di penna di struzzo o di corvo, ma le rozze e crude lamelle di legno erano state sostituite da linguette ben lavorate e ricoperte di velluto — era già da anni abbandonato dai compositori ed esecutori più valenti. Haydn, Em. Bach, Mozart, è vero, non si erano decisi all'abbandono se non dopo una resistenza tenace; ma essi pure avevano finito per adottare il pianoforte, cotesto istrumento « borghese », come lo chiamava il Balbattre — celebre organista. — Non era valso al « nobile e maestoso » clavicembalo — i qualificativi sono di Voltaire, per il quale il pianoforte era un istrumento da « chaudronnier » — l'essere arrivato a dare suoni tanto dolci da potersi chiamare — secondo i tipi — *clavicembalo d'amore*, *clavicembalo angelico*: esso era stato quasi totalmente sbancato da cotest'ultimo.

Imperfettissimo nella forma primitiva — il *cembalo a martelletti col piano e forte* — sotto cui Cristofori — operaio padovano stabilitosi nel 1710 a Firenze — lo aveva presentato al Granduca, il pianoforte si era già — per opera di Silbermann, di Stein e di Broadwood — notevolmente perfezionato, così che nell'ultima

parte del secolo — segnatamente col Broadwood — aveva già acquistato una grande sonorità, teneva, prolungava bene il suono, ed aveva bel timbro nelle note centrali e molta larghezza nei bassi; e si è nel 1796 che la Casa Érard produceva i primi grandi piani a coda — aventi, però, ancora solo cinque ottave e mezza.

In che avesse consistito la superiorità del pianoforte sul clavicembalo è presto detto. Al clavicembalo mancava la possibilità di dare opportuna graduazione ai toni dai più forti ai più deboli, e di temperare, mediante smorzamento, la vibrazione soverchia delle corde; pregi che aveva già, invece — per quanto rudimentalmente, l'imperfettissimo istrumento inventato dal Cristofori, nel quale erano stati distinti tasto e martelletto, si era provveduto a che il moto venisse trasmesso dall'uno all'altro in una maniera molto opportuna — mediante una leva che li lasciava, nel resto, completamente liberi — e si aveva un *sordino*.

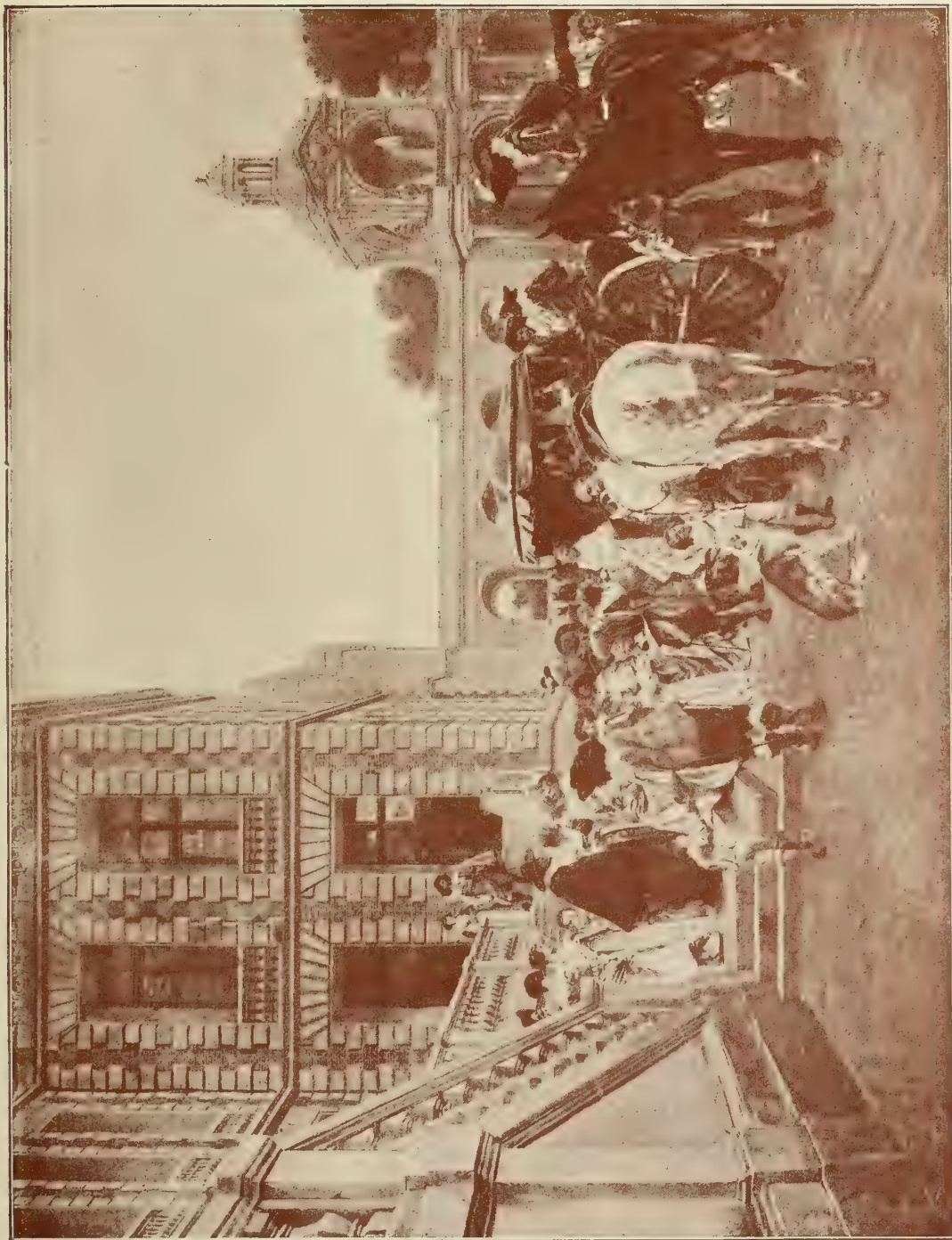
Cetra e viola, negli affreschi di Melozzo da Forlì.
(già decorazione dell'abside della Bas. dei S. S. Apostoli, ora nella Sacrest. di S. P. in Vaticano).

Un altro istrumento per il quale la fine del secolo XVIII segna un'epoca notevole, si è l'arpa. Antichissima, rimasta anche nell'Europa molto imperfetta — quando Arrigo VIII la poneva tra' segni caratteristici dello stemma d'Irlanda era sempre un piccolo istrumento che il suonatore poteva reggere con una mano o sulle ginocchia — non aveva

ancora nel secolo XVI che quindici corde ed abbracciava una estensione di due ottave. I tentativi fatti per provvederla del mezzo con cui ottenere gli intervalli cromatici, e consistiti nell'aggiunta delle cinque corde per ottava necessarie all'uopo, ne avevano reso difficile la diteggiatura. Onde, era stata invenzione assai importante quella fatta da Hochbrucker di Donauwörth, il quale — dando attuazione pratica all'idea di un ignoto tirolese, che, per elevare di un semitono la nota di ciascuna corda, aveva ideato di accorciare opportunamente le corde stesse con l'appenderle ad un uncino — per mezzo di un meccanismo a nottolini e pedali aveva ottenuto la possibilità di ele-

Bassorilievi di un capitello dell'XI secolo, trovato tra le ruine dell'Abbazia di Saint Georges Boscherville, rappresentante un concerto. Vi si vedono, cominciando da sinistra: *ribeba* (1.° personaggio); grande *organistrum* di cui uno dei suonatori (2.°) muove i tasti, mentre l'altro (3.°) gira la manovella della ruota; zampogna (4.°); una specie di arpa (5.°); viola a tre corde (7.°); arpa davidica (9.°); concerto di campane (tra i due ultimi).

Dalla T. IV, pag. 505 del Fétis, *Histoire générale de la Musique*, Paris, Firmin Didot et C.

vare di mezzo tono simultaneamente le sette corde di tutte le ottave. Ma codesta soluzione — perchè i nottolini obbligavano le corde a deviare dalla loro direzione normale, ed i pedali, male assicurati, non funzionavano con precisione — non aveva potuto soddisfare completamente, per quanto Cousineau e il celebre Naderman cercassero di migliorarla. Si fu nel 1790 che Se-

« Una visita » quadro di L. Meissonier.

Il Secolo XIX. Proprietà artistica

« La femme », — quadro di Giacomo Grosso.

Suonatori d'istrumenti, alla fine del sec. XV. — Da un salterio ms. grande in 4 ° esist. alla bibl. dell'Arsenale di Parigi e rappres. Renato II duca di Lorena ed i personaggi che composero il salterio.
[illegible]
delle Signore V. Vidal e V. Hillemacher.

bastiano Èrard, col sostituire ai nottolini delle rotelle opportunamente disposte, dava l'arpa *a movimento semplice*, la quale — se costituiva un istrumento lontano ancora dalla perfezione che doveva toccare non molti anni dopo — rappresentava tuttavia un grande passo in avanti.

Non parliamo dell'*arpa eolia* — l'arpa che, secondo l'espressione di Ossian, « senza essere toccata risuona tristamente sul colle », ed a cui il p. Kircher aveva dato disposizione tale che i suoni di essa, sotto l'azione del vento, acquistavano la pienezza ed il timbro di quelli dell'organo —. Essa ha eccitato

sempre interesse, ma non ebbe mai — nè poteva averla — applicazione disorta.

È, all'incontro, da soffermarsi su lo stato dell' *organo.* Alla fine del secolo XVIII al confronto con l'istrumento da cui ripete l'origine — il rustico *flauto di Pane* — era quello che sarebbe una delle nostre potenti macchine elettriche rispetto a quell'ambra a cui Talete dava « la vita » con lo strofinarla.

Vale la pena di notare come l'organo offra un esempio di quel « ritorno all'antico » verificatosi per tante invenzioni, che fu già notato per la motrice a vapore, e ci apparirà stupefacente per le macchine generatrici di correnti elettriche usate nell' industria moderna. I primissimi organi devono essere stati a soffietto: tale è l'opinione dei più competenti quali il Millin, il Forkel, il Meister, il Bertrand. Ma per lunga serie di secoli l'organo a mantici fu sopraffatto dall'organo idraulico — invenzione di Archimede. — Erano idraulici gli organi che funzionavano nei circhi dell' antica Roma; idraulici gli organi cantati — nel IV secolo — da Claudiano — « messi di rame da cui si eleva un concerto di innumerevoli voci prodotte dall'impulsione delle dita che paiono errare su la tastiera » —; idraulico l'organo che nel 757 l' imperatore greco Costantino Copronimo inviava in dono a Pipino di Francia, e che questi faceva porre nella chiesa di S. Cornelia a Compiègne.

1. — *Viola da gamba* di Gaspare Duiffoprugear, intarsiatore tirolese che fiorì come liutaio a Bologna tra il 1510 e il 1515, e passò poi a Parigi e Lione. — 2. Violoncello di Stradivari.
Da incis. di Hillemacher, Tav. XXVI e XVI del T. I del Vidal, *Les Instruments à Archet.* — Per cort. concess. delle Signore V. Vidal e V. Hillemacher.

In alcuni era il vapore — *aquae calefactae violentia*, è detto a proposito di un organo che ancora nel XII secolo esisteva, secondo il Ducange citato dal Couwenberg, in una chiesa d'Inghilterra — che faceva funzionare l'organo: così nel medesimo secolo agiva ancora a Reims un organo idraulico, che doveva essere

Trombette Marine, sec. XVIII e XV, rispett. dal P. Bonanni — *Gabinetto Armonico*, Roma. 1722 — e dal ms. di Froissard, XVI sec. fonds français, N. 8320, Bibl. Nat. di Parigi.
Tav. VIII, incis. di Hillemacher., del Vidal. *Les instr. à archet*, per cort. conc. delle Signore Ved. Vidal e V. Hillemacher.

della fine del X — perchè, come si ritiene fondatamente, costruito da Gerberto, il dotto monaco, maestro dell'imperatore Ottone III e divenuto

1. Lira, 2. Viola a sei corde o *basso*, del secolo XVI.
Riproduz. dall'ediz. orig. del *Musica Instrumentalis* di Martino Agricola, Vittemberga, 1542.

poi papa col nome di Silvestro II —: così agiva l'organo, già ricordato, da Costantinopoli venuto in dono a Pipino.

Si è verso il XII secolo che si ritornò all'antico, e che l'organo a mantici prese il sopravvento, senza, per altro, impedire — fino quasi al secolo XVII — che quello idraulico si mantenesse, almeno come oggetto di lusso, ed anche di

Fig. 1

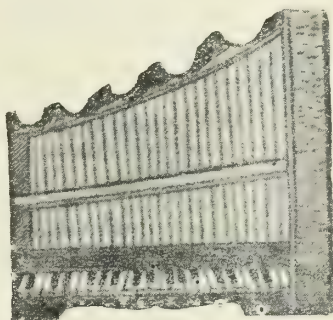



Fig. 2

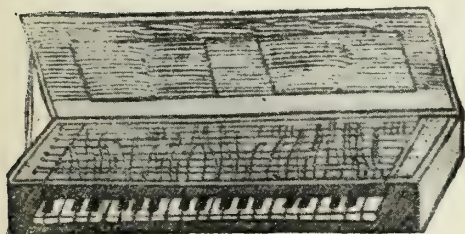



Fig. 3

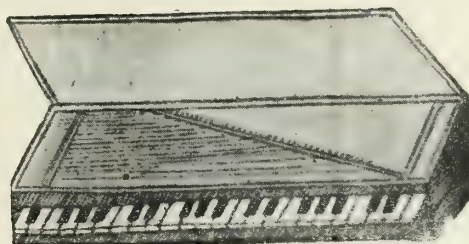



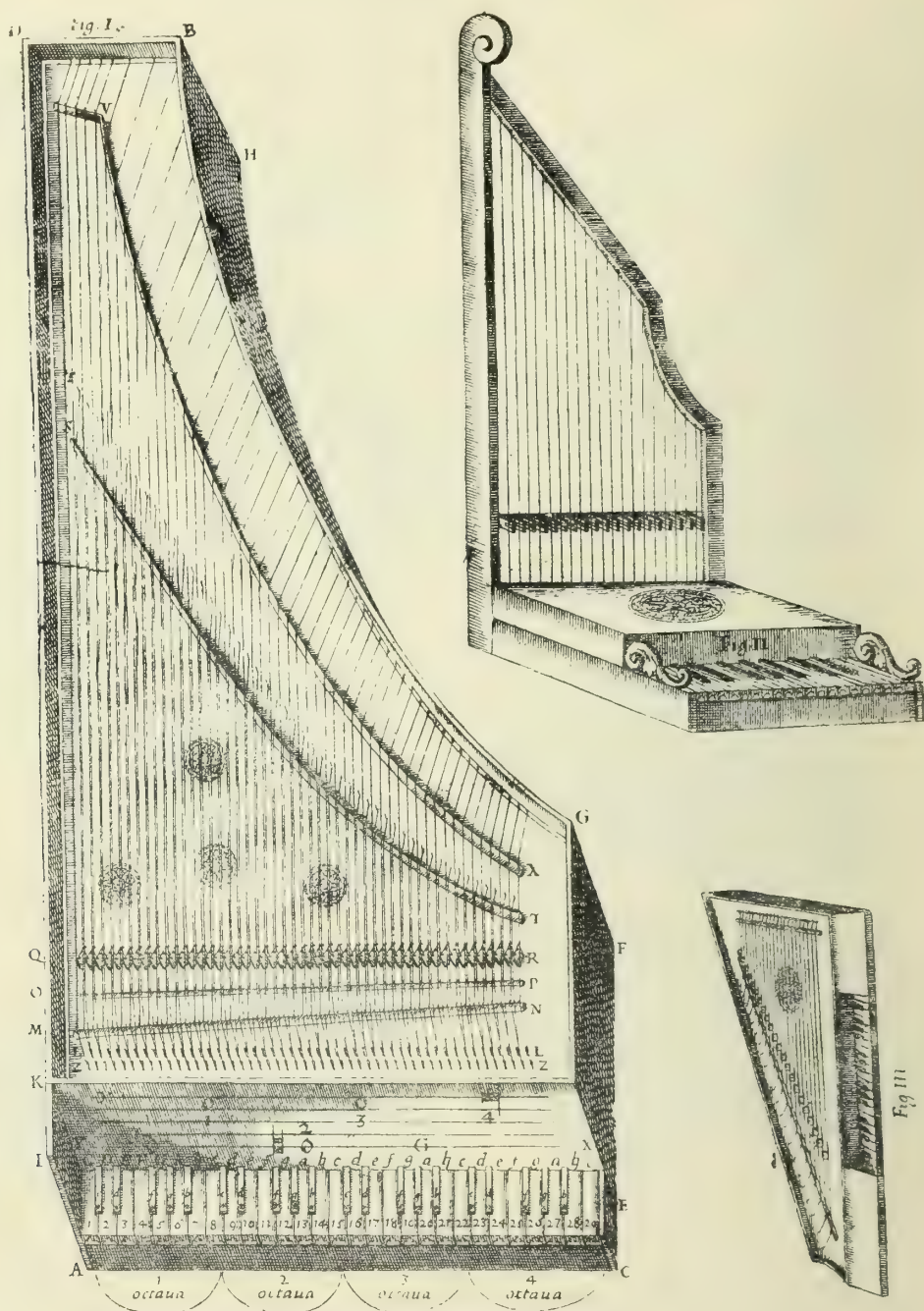
Fig. 4

1. Virginale — 2. Claviciterio — 3. Clavicordo — 4. Clavicembalo (Sec. XVI).
Riprod. da fotog. dell'ediz. orig. dell'opera di Martino Agricola *Musica Instrumentalis*, Vittemberga. 1542 (1).

studio: ancora nel 1649 Innocenzo X ne faceva costruire uno dal p. Kircher nel giardino del Quirinale.

Comuni tra i primi organi a mantice di cotesto periodo posteriore al secolo XII, quelli portatili:

> Orgues avaient bien maniables
> A une main portables
> Où il mesme souffle et touche
> Et chante á haute et pleine bouche,
> Mottez á contre et á tenure

(1) Il piccolo libro di Martino Agricola è tra i fonti più preziosi per la storia degli istrumenti musicali. Dobbiamo però notare che non sempre gli scrittori specialisti sono esatti nella riproduzione. Così il Rambosson nella sua bell'opera *Les Harmonies du son* scambia il *clavicordo* con il *virginale*, pur indicando per entrambi come fonte appunto Martino Agricola. Un esemplare dell'importante documento esiste all'Ambrosiana di Milano.

I *Clavicembali* della prima metà del secolo XVII. — Fig. 1 *Clavicembalo* comune in Italia. — Fig. 2 *Clavicembalo* a forma d'arpa. — Fig. 3 *Spinettino*.
Kircher, *Musurgia Universalis*, Tav. IV e V, pag. 455, Roma 1650.

è detto nel *Le Roman de la Rose* — del XIII secolo —; e di organi portatili non è penuria nelle miniature del secolo XIII e di secoli posteriori: con un organo portatile ancora Raffaello raffigurava S. Cecilia. Stridente contrasto, cotesto, con gli organi dei tempi antecedenti: quello di Magdeburgo — dell'undecimo secolo — per sedici tasti, aveva ventiquattro mantici; e il celebre organo di Wincester — costrutto nel 951 — richiedeva, per le sue quattrocento canne, l'opera di settanta uomini robusti per far agire i ventisei mantici

e richiedeva pure che i due organisti manovrassero a colpi di pugno i tasti — quaranta di numero —.

Che se l'organo pneumatico si era andato nel corso dei secoli successivi perfezionando, il meccanismo però fu trascurato fino al secolo XIX, e si può dire che proprio la fine del XVIII segna l'inizio del periodo della riforma della parte meccanica, poichè si fu precisamente nel 1800 che il Falkenstein nell'organo di S. Maria a Berlino attuava per il primo alcune delle riforme radicali che un uomo di molto ingegno — l'abate Giorgio Giuseppe Vogler di Wurtzburg — aveva immaginato. — E si è pure verso la fine del secolo XVIII che Perrault ideava il primo sistema per rendere espressivo l'organo; sistema realizzato poi da Moreau — organaro di Rotterdam — mediante tasti, che, sotto pressione crescente, con l'affondarsi sempre più mettevano in azione un numero di giuochi successivamente maggiore.

Meccanismo del Cristofori.

Ciò che abbiamo notato circa « la meccanica » e quel che dovremmo dire — per essere nel vero — su la poca riuscita dell'opera del Moreau non devono però far credere che l'organo non fosse giunto a quell'epoca ad un livello discretamente alto.

Già nel 1570 — per opera di Giovanni Lobsinger da Norimberga — erano stati inventati i mantici a pieghe regolari fatte con assicelle, ed erano quindi scomparsi quelli da fucina, tanto inadatti; i registri, dopo i primitivi che avevano durato fino al secolo XVI nel tipo *a valvola*, avevano preso da quell'epoca eslusivamente la forma *a tiro*; Foerner — organista a Wettin — con l'invenzione verso il 1677 — della *prova pneumatica* o *bilancia pneumatica*, aveva dato il mezzo di costruire mantici in dimensioni razionalmente calcolate e di caricarli con pesi determinabili, così che l'efflusso dell'aria poteva aversi con la dovuta pressione. Uno dei Serassi — nome illustre nell'arte organaria italiana, degno di figurare con quello degli insigni organari da Antignate — aveva avuto l'idea di un meccanismo che permettesse a un movimento voluto di riunire su di una sola tastiera tutti i registri, ed aveva così inventato il *tira-tutto*, con cui si avevano già dall'organo degli effetti molto

Arpa della fine del secolo XVIII.
Da una stampa dell'epoca.

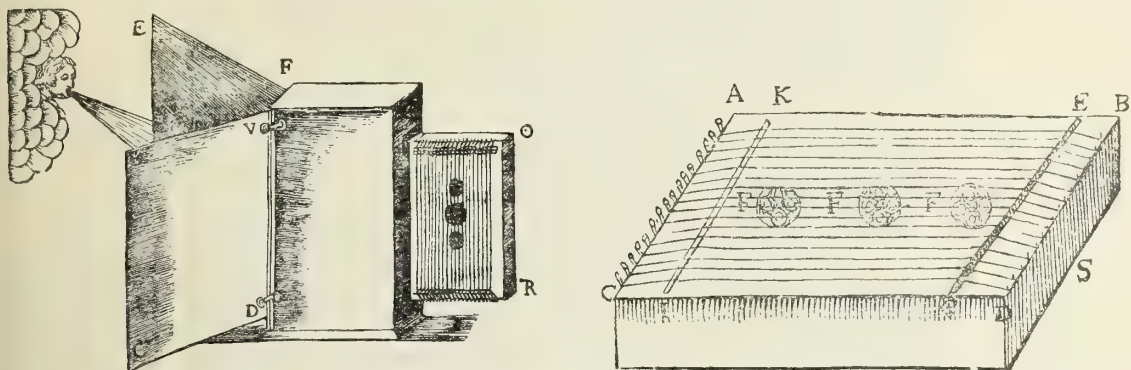
brillanti; verso il secolo XVI erano stati inventati i tubi chiusi, nel XVII Ratz di Mühlhausen aveva ottenuto la *voce angelica*, e alla fine del XVIII il Kratzenstein aveva pubblicato la invenzione dell'*ancia libera*; e buoni frutti avevano dato le polemiche e gli studi di matematici e di costruttori per quel che riguarda il *temperamento* delle note. L'organo era insomma già un istrumento da considerarsi come discretamente perfezionato: aveva gloriosamente ricuperato il terreno che gli aveva fatto perdere la bufera passata su di esso nei primi tempi della riforma religiosa, quando zwingliani, calvinisti, valdesi —

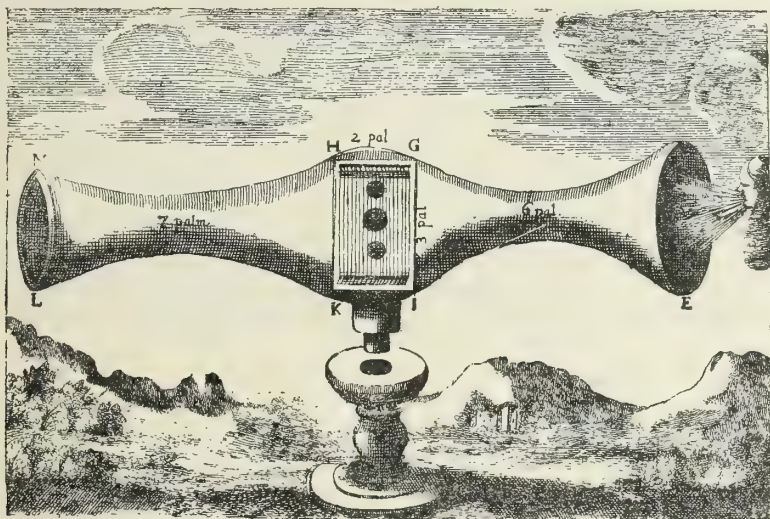
Officina da liutaio alla fine del secolo XVIII.
Riproduz. da una stampa dell'epoca.

tutti, in una parola, i protestanti, eccettuati i luterani il cui maestro riteneva utile conservarlo — gli si erano scatenati contro con un furore le cui conseguenze erano state, per un momento, fatali. Vuole anzi essere notato che la riforma religiosa finì per esercitare una vera influenza su la fattura dell'organo. Destinato nei paesi protestanti unicamente ad accompagnare grandi masse di popolo nel canto corale dei salmi e degli altri inni religiosi, vi assunse e mantenne una fisonomia grave, austera, mentre nei paesi cattolici si andava trasformando in un istrumento nel quale i costruttori miravano a realizzare un'orchestra completa.

Che se poi il lettore volesse avere un'idea di quello che i matematici chiamano *l'ordine di grandezza*, a cui esso era arrivato prima del secolo XIX, basterà ricordare quelli della chiesa luterana di Amsterdam — costruiti nel 1709 — aventi complessivamente l'altezza di 54 metri, e quello dell'antica abbazia di Weingarten — del 1750 — che contava 66 giuochi, 6666 tubi, e quattro tastiere e pedaliere.

Degli altri strumenti a vento possiamo riassumere lo stato alla fine del secolo XVIII col dire che erano ben lontani dal punto in cui furono por-

tati nel XIX. Nel flauto — divenuto *traverso* al principio del 1700 — si erano andati aggiungendo empiricamente fori, chiavi, leve, e, malgrado l'opera di

L'*arpa eolia* e la sua disposizione perchè risenta l'azione del vento.
Phon. Nova, 1673, *Campidonae,* pag. 145 e 46.

Tromlitz, Grenser e sopratutto di *Tacet* — flautista celebre — aspettava ancora il suo vero riformatore. Il *clarinetto,* relativamente recente — costruzione del 1701, di Cristoforo Denner — acquistava difetti nuovi nei tentativi che si facevano per eliminare i vecchi: malgrado che Fritz — verso la metà del secolo — aggiungendo la prima chiave lunga, avesse colma la lacuna del *si* naturale che il clarinetto non poteva dare; malgrado le altre cinque chiavi lunghe aggiuntegli dal Beer e dal Lefèvre, esso non aveva ancora un sistema razionale di chiavi. Imperfetto il *corno,* sebbene Hampl — tra il 1750 e il 1760 — lo avesse arricchito dei suoni *stoppati* o *tufati,* la cui possibi-

Tubo destinato a trasmettere *a grandi distanze armonie nuove peregrine ed a tutti sconosciute.*
Kircher, *Phonurgia Nova, Campidonae,* 1673, pag. 144.

lità aveva scoperto per caso — avendo introdotto nel padiglione, secondo alcuni la mano per meglio reggere lo strumento, secondo altri uno stoppaccio di cotone per addolcire il suono —. La *tromba* in uso era ancora del tipo *a ritorti,* specie di *ciambelle* che si innestavano dalla parte superiore del tubo per ottenerne i suoni più bassi: la novità più importante era quella della

La Santa Cecilia di Raffaello.

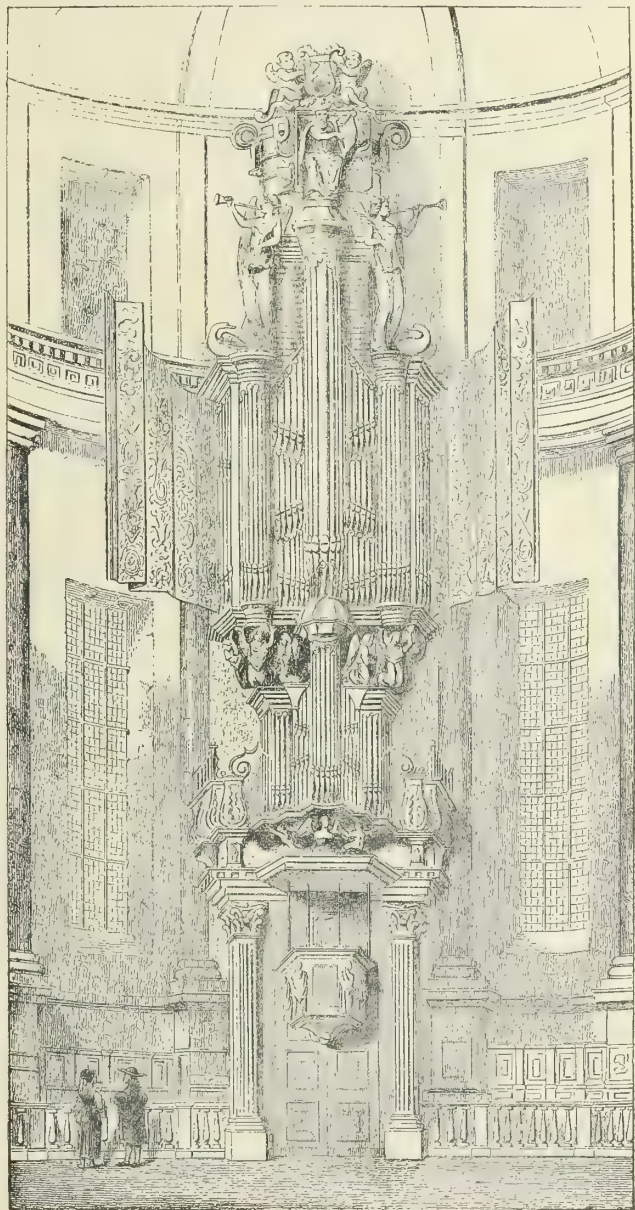
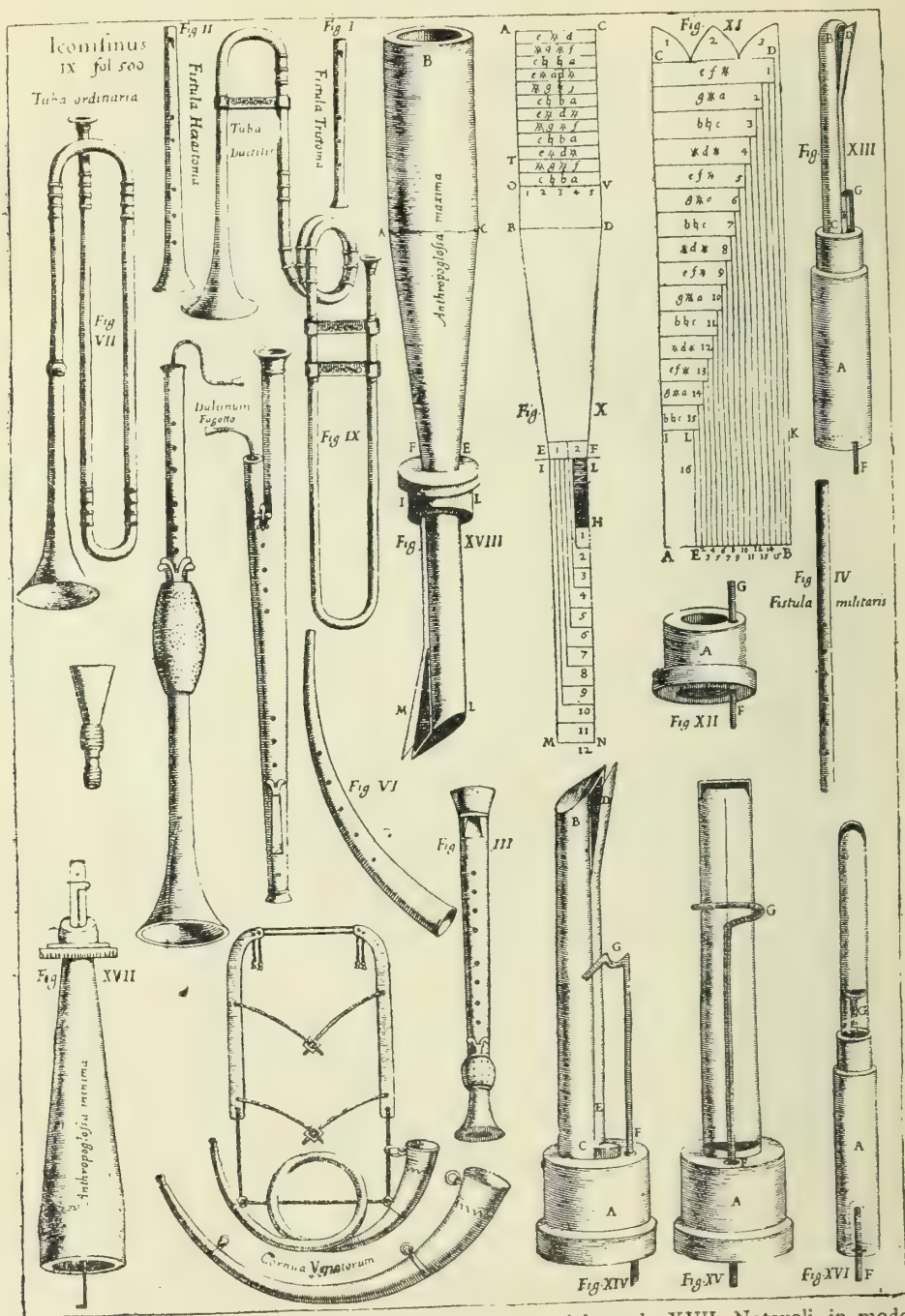
tromba *a tiro*, ideata dall'Haltenhorf per aumentare l'estensione, e *a tiro* era ancora il *trombone*, che, per tal modo, presentava difficoltà nell'arrestare al punto giusto la canna, riesciva faticoso, non permetteva di legare i suoni se non a patto che dipendessero dalla medesima nota fondamentale, e portava necessariamente una grande lentezza d'esecuzione, senza contare la necessità troppo frequente di scostarne le labbra.

Non daremo altri esempi: gli accennati bastano a mostrare quale campo era riservato al secolo XIX: non tralasceremo però di ricordare che alla fine del secolo antecedente — nel 1777 con Horn e nel 1793 con Enrico Grenser — la musica si era arricchita rispettivamente del *corno bassetto* e del *clarone*, e che pure alla fine del medesimo secolo Giovanni Ferlendis da Bergamo aveva inventato il *corno inglese*.

II.

Lo studio delle vibrazioni.

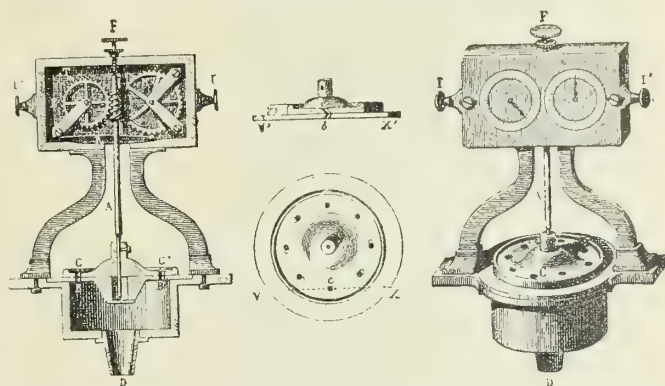
Il lavoro compiuto durante il secolo XIX nel campo dell'acustica presenta delle parti riguardanti problemi totalmente nuovi rispetto agli studi anteriori.

Quando nel 1819 il barone Cagniard de La Tour pubblicava la memoria « *Sur la Sirène, nouvelle machine d'acoustique destinée à mésurer les vibrations de l'air qui constituent le son* » apriva appunto alla scienza un campo nel quale non era stato fatto mai tentativo alcuno. « Le mouvement de *va et vient* des cordes et des anches vibrantes — dice il fisico francese in quella breve monografia — ne peut s'apprécier que par la théorie ». Egli invece aveva trovato, per il primo, un mezzo con cui fare codesta determinazione in base all'esperienza, ed indicava così una via nuova alle ricerche. La sirena permetteva e di produrre suoni di qualunque altezza — dai più gravi ai più acuti, senza interruzione di sorta — e di stabilire il numero delle vibrazioni, per minuto secondo, corrispondenti a qualunque di essi: volendosi quello di una corda o di un'ancia, non si aveva che mettere la sirena all'unisono con la corda o con l'ancia; siccome il numero di vibrazioni per secondo che percuotono il timpano determina l' altezza del suono — quanto più il primo è grande, tanto più questo è acuto, e reciprocamente — così non si aveva che mettere la sirena all'unisono con l'altro organo vibrante, e contare poi il numero di vibrazioni corrispondenti al suono della sirena. Si aveva direttamente dall'esperienza quello

Gli organi della « Nuova Chiesa » luterana di Amsterdam, costrutti nel 1709
Dal Rambosson, *Les Harmonies du son*, Parigi, Firmin-Didot et C.ie.

Istrumenti a vento, in uso in Italia nella prima metà del secolo XVII. Notevoli in modo speciale: Fig. III, *flauto*. Fig. VI, *cornetto*.
(Kircher, *Mus. Univ.* Roma, 1650, pag. 500).

corrispondente al suono dato dall'altro istrumento, qualunque esso fosse: era cotesta una trovata geniale.

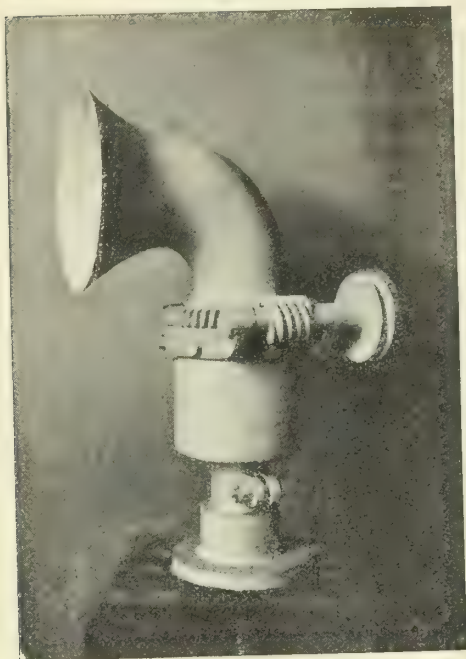
Come la sirena fosse formata, ce lo dice con una grande lucidezza lo stesso inventore. « Il se compose — scrive egli parlando del modello con cui istituì le sue esperienze — d'une boîte circulaire en cuivre, d'environ quatre pouces de diamètre. Le dessus de cette boîte est percé obliquement de cent ouvertures ayant un quart de ligne de largeur et deux lignes de lon-

gueur. Son milieu porte un axe qui sert de centre de mouvement au plateau qui recouvre les ouvertures. Ce plateau est aussi percé de cent ouvertures correspondentes à celles de la boîte, et ayant une obliquité semblable, mais en sens invers des premières. L'obliquité des ouvertures n'est pas une condition nécessaire à la production du son, elle ne sert ici qu'à donner au courant la direction convenable pour faire tourner le plateau; ce qui dispense, quand on le veut, d'employer pour cet effet un agent extérieur ».

Non è necessario di aggiungere che, soffiando dell'aria nella scatola cilindrica, essa, all'uscita durante la coincidenza dei canaletti dei due dischi, comprime l'aria esterna, mentre poi cessa in questa ogni compressione tutte le volte che — per il rotare del disco mobile — i canaletti vengono a chiudersi; che si determinano così, appunto nell'aria esterna, tante vibrazioni — per ciascun giro del disco superiore — quanti sono i canaletti che esso porta, e, per conseguenza, si ottiene un suono, il quale, grave quando la rotazione è lenta, si può — senza interruzione — alzare gradatamente quanto si vuole, semplicemente con l'aumentare la pressione dell'aria che si va insufflando.

La *sirena* del Cagniard de La Tour.
(Sono segnati, per maggiore chiarezza, solo otto canaletti, invece che 100).

La invenzione di questo umile istrumento che si trova nei gabinetti di fisica anche più modesti aveva destato un grande interesse, e i periodici scientifici di Londra e di Edimburgo reclamarono per l'Inghilterra la priorità dell'invenzione. Giustizia vuole si dica che il meccanismo inventato dal dott. Robison e da lui fatto conoscere a Edimburgo — nel 1801 — nella *Enciclopedia britannica* dava suoni col provocare moti dell' aria analoghi a quelli che si producono nella sirena; ma giustizia ancora vuole si noti che quell'istrumento era ben lontano dal poter compiere l'ufficio di questa. Esso — consistente in un tipo speciale di rubinetto — non rendeva che un *sol* di 720 vibrazioni e la sua ottava grave: non v'era in esso nemmeno l'idea di un apparecchio da cui si potessero avere suoni abbraccianti senza interruzione alcuna la serie completa delle altezze.

La *sirena* del Pellat.
Dalla monogr. orig. del Pellat, in *Journal de Physique*, serie III, t. IV. 1895.
Sotto all'apparecchio contatore, il piccolo motore elettrico che serve ad imprimere la rotazione al disco.

L'esperimentare con la sirena del Cagniard de La Tour non è facile. I suoni che essa dà hanno un timbro sgradevole, e ciò rende forse alquanto arduo il confronto con quelli forniti dagli istrumenti musicali: di

più non è facile mantenere costante per un tempo riflessibile l'altezza del suono; e l'essere il meccanismo contatore dei giri indipendente da quello misuratore del tempo — bisogna operare con un orologio — rendono molto relativa l'esattezza delle determinazioni fatte mediante quella sirena. Oggi nessuno ricorrerebbe alla sirena qual'era stata costrutta originariamente.

Sirena da marina.

Ciò non ha impedito che un eminente scienziato francese non ne facesse alla fine del secolo XIX, nel 1895, oggetto di studio, eliminandone i difetti più gravi. Il Pellat — resi normali ai dischi, e non più obliqui, i canaletti — ebbe ricorso ad un motorino elettrico Gramme per la rotazione del disco, ottenendo così una velocità ben determinata e fissa, regolabile a piacere e che consente, pertanto, di mettere bene — e mantenere quanto occorre — l'istrumento all'unisono col corpo sul quale si vuole sperimentare. Ma, anche come fu costruita originariamente, la sirena del Cagniard de La Tour rappresenta pur sempre la prima soluzione di un problema nuovo di molta importanza per la teoria e per la pratica. Vuole perciò essere considerata alla stregua di vedute ben di-

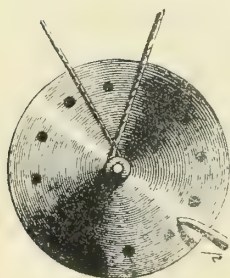



Fig. 1.

La *sirena* del Seebeck. Fig. 1 disposizione schematica — Fig. 2 costruzione del Koenig.

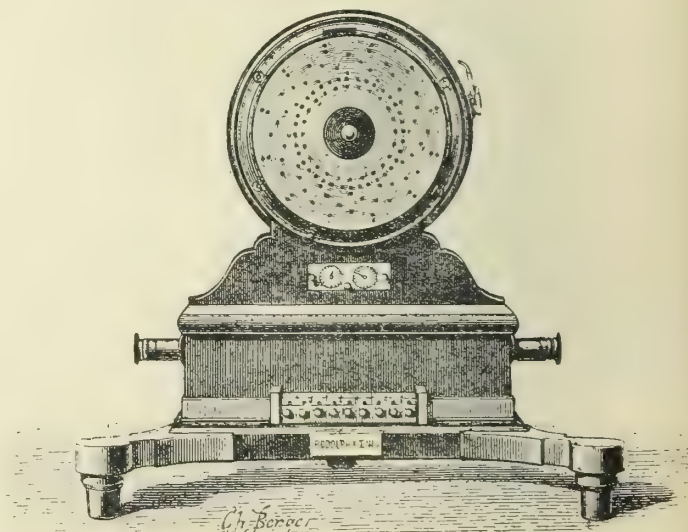



Fig. 2.

verse da quelle che potrebbero venire ispirate dallo stato presente dei mezzi d'indagine di cui dispone l'acustica.

Di più sotto forme svariate — e con ufficio ben diverso da quello per il quale fu inventata — essa vive tuttora; e la sua vita è rigogliosa, nobile, altamente benefica.

Ogni giorno il fischio della sirena segna, per i grandi stabilimenti dell'industria, il momento del ritorno alla vita e quello in cui tutto vi deve rientrare nella quiete. Quando fitta si stende sul mare la nebbia, è impotente il raggio del faro più luminoso, e grave — per le velocità raggiunte dalla nautica moderna — è il pericolo degli investimenti: allora, dall'alto della lanterna, la sirena spinge lontano lontano la voce del conforto e della salvezza, ovvero, dalla nave che sicura la trasporta, getta tutt'intorno l'allarme salutare, impedendo così che la rotta divenga luogo di desolazione e di morte.

Fig. 1

Quanto a servigi resi da essa alla scienza, non v'è solo quello — pur di tanto rilievo — dell'avere aperto una nuova via agli studi dell'acustica. Essa ha benemerenze anche in altri rami, e basterà, a provarlo, ricordarne una segnalatissima: fu essa che permise a Foucault le esperienze famose su la velocità della luce, come avremo occasione di vedere quando parleremo di quei lavori meravigliosi che rimossero definitivamente ogni dubbio su la teorica delle ondulazioni.

Fig. 2.

La *sirena doppia* dell'Helmholtz. — Fig. 1 veduta d'assieme. — Fig. 2 particolari delle valvole.

H. v. Helmholtz

Ma poi — tornando al campo dell'acustica — non può dimenticarsi che essa fu il capostipite di una famiglia di istrumenti che hanno permesso molte ed importanti determinazioni; ricordiamo le sirene del Seebeck, del Dove, la sirena doppia dell'Helmholtz, poi quelle di R. Weber, del Koenig, dell'Hechhorn.

Il primo, volendo dilucidare alcuni punti relativi alla produzione del suono, ideò di disporre, in un disco — di castano — non un solo ordine di cana-

letti — come si ha nell'apparecchio del Cagniard de La Tour — ma parecchi, concentrici tutti e differenti tra loro per il numero dei canaletti stessi. Il Seebeck ebbe creato così la sirena polifona. Il disco era montato su di un albero orizzontale, a cui — mediante una puleggia ed una cigna — si trasmetteva il moto rotatorio; e dei tubetti, che si potevano portare contro l'uno o l'altro ordine di canaletti, servivano a soffiarvi l'aria. « L'istrumento — dice il Seebeck nella sua memoria *Ricerche su una condizione costante nella produzione dei suoni* pubblicata nel 1841, può essere considerato come un complesso di parecchie sirene ». Notiamo che l'idea di ridurre la sirena ad un disco, e di imprimerle moto mediante un agente esterno, diverso dall'aria destinata a produrre il suono, si trovava già nella memoria del 1819 del Cagniard de La Tour, e in ciò non è — come generalmente si crede — l'invenzione del Seebeck. L'idea geniale di lui è quella della molteplicità degli ordini di canaletti, che permette la produzione contemporanea di suoni aventi un rapporto fisso nel loro numero di vibrazioni — questo è infatti il rapporto dei numeri di canaletti delle serie che vengono messe in azione — comunque il numero assoluto delle vibrazioni stesse per minuto secondo venga accresciuto o diminuito con l'aumentare o col ridurre la velocità della rotazione. Rodolfo König — dottore in filosofia e costruttore d'istrumenti di acustica, che ha lasciato orma vasta ed incancellabile nella storia della scienza — sostituì alla puleggia ed al motore esterno un meccanismo di orologeria, e Dove ebbe l'idea di fondere in un solo apparecchio le sirene del Seebeck e del Cagniard de La Tour, col dare all'ultima più serie di fori ciascuna delle quali può, a piacere, venir messa in azione od essere eliminata.

Fig. 1.

Fig. 2.

La *sirena elettrica* di R. Weber. — Fig. 1 veduta d'assieme; — Fig. 2 schema del disco interruttore e del circuito telefonico.
Dalla mon. di Weber in *Journ. de Phys*, II *ser.*, T. *3*, *1884*.

La *sirena ad onde* del Koenig.
Riprod. della fig. 65, pag. 235 dell'opera del Koenig: *Quelques Expériences d'Acoustique*, Paris, 1882.

Si fu però con Helmholtz che la sirena raggiunse l'apogeo, e divenne

— come mezzo di ricerca — uno tra gli istrumenti più preziosi dell'acustica. La *sirena doppia* — ch'egli fece costruire la prima volta da Sauerwald di Berlino — consta, com'è noto, di due sirene polifone del Dove, poste l'una sopra l'altra — la superiore capovolta, cosicchè i dischi mobili si trovano affacciati. — Questi hanno un unico perno, munito di vite perpetua che permette di valersene per far funzionare un contatore di giri; e — mediante una piccola manovella ed un ingranaggio — è possibile far ruotare la cassa della sirena superiore in modo che i canaletti di

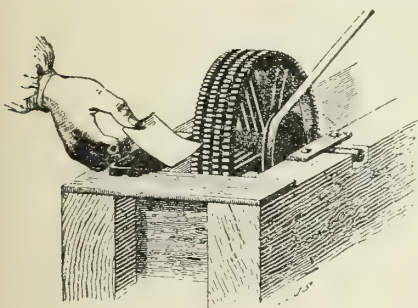
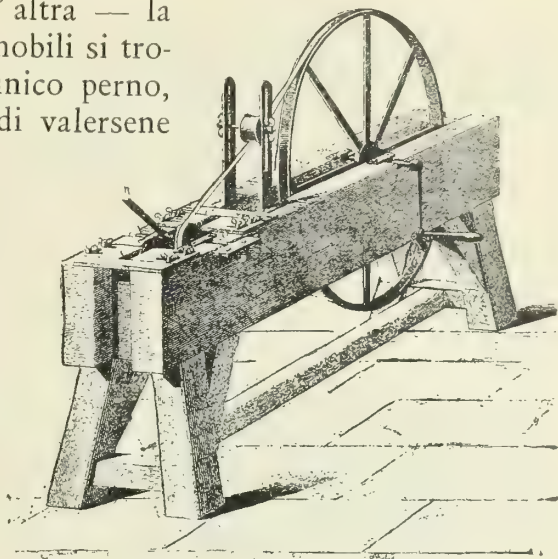
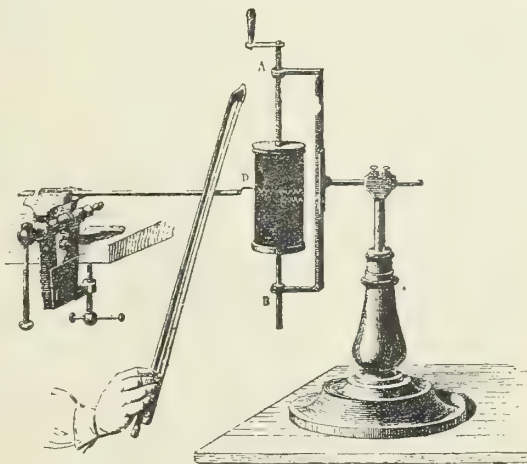



Fig. 1.

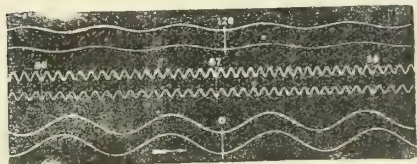
Fig. 2.

Apparecchi del Savart per misurare il numero di vibrazioni corrispondente ad un suono. — Fig. 1 *sbarra ruotante*; — 2 *ruota dentata*.

essa abbiano qualsivoglia posizione rispetto a quelli dell'inferiore. Con ciò è possibile l'ottenere che le vibrazioni di una comincino sia contemporaneamente a quelle dell'altra, sia in ritardo od in anticipo di una frazione determinata del tempo per cui dura ciascuna vibrazione: possibile, quindi, lo studiare la varia influenza che un suono può esercitare su di un altro dipendentemente dalla differenza nelle varie fasi della vibrazione.

Ciascun disco presenta quattro serie di canaletti che — mediante piccoli bottoni, da cui sono comandate delle valvole opportune — si possono, a piacere, rendere attivi od inoperosi. I fori del disco inferiore sono ordinatamente in numero di 8, 10, 12, 18: quelli del superiore 9, 12, 15, 16. Per tal modo — ove si regoli la velocità così che la serie di 8 canaletti dia un *do* qualunque — dagli altri ordini della sirena inferiore si possono avere rispettivamente il *mi* e il *sol* della stessa scala, ed il *re* della successiva, mentre da quelli della superiore si possono avere il *re* ottava grave dell'altro, il *sol* e il *si* della medesima scala, e il *do* della successiva. E appunto con ut_0 — o do_0 — mi_0, sol_0, re_0, sono segnati i rispettivi bottoni della sirena inferiore,

Il *Vibrografo* del Duhamel disposto per registrare le vibrazioni trasversali di una verga.

con re_0, sol_0, si_0, *ut*, quelli della superiore. Che se la velocità cresce o diminuisce, tutti codesti toni si alzano o si abbassano, ma sempre nel medesimo rapporto. « Si possono così produrre — scrive il sommo fisico tedesco — gli intervalli seguenti:

Vibrazioni della membrana del *timpano*, sotto la influenza di due canne da organo reg. mediante uno stilo fissato sul *martello*. Esperienza di Politzer e Koenig.
Dall'op. di Koenig *Quelq. Expér. d'Ac.* fig. 16, pag. 29

1.° *unisono:* sol_0 e sol_0 sui due dischi; 2.° *ottava:* ut_0 *ut* e re_0 *re*; 3.° *quinte:* ut_0 sol_0 e sol_0 *re*, sul disco inferiore solo o sui due dischi insieme; *quarte:* re_0 sol_0 e sol_0 *do*, sul disco superiore solo o su entrambi contemporaneamente; *terza maggiore:* ut_0 mi_0 su l'inferiore, sol_0 si_0 sul superiore, o la stessa terza su entrambi; *terza minore:* mi_0 sol_0, su l'inferiore o sui due, si_0 *re*, sui due; *tono maggiore:* ut_0 re_0 e *ut re*, sui due; *semitono:* si_0 *ut* sul disco superiore.

Tracciati paralleli delle vibrazioni di due diapason, uno da 128 e l' altro da 120 vibr. semplici.

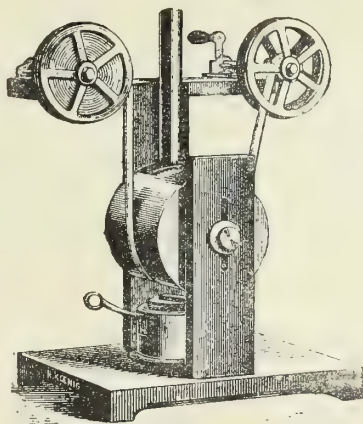
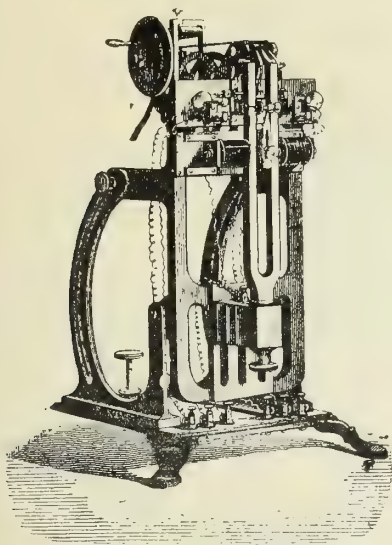
Se si producono i due suoni mediante il medesimo disco, i suoni risultanti hanno una grande intensità. Se, al contrario, sono emessi mediante dischi differenti, i suoni risultanti sono deboli ».

Si è con codesto apparecchio — in fondo tanto semplice — che Helmholtz ha potuto stabilire le leggi universali degli accordi, e — con lo spostare di quantità diverse una delle sirene rispetto all'altra, e col determinare, quindi in misura variabile, una differenza tra l'istante in cui hanno origine le vibrazioni di un sistema rispetto all' istante in cui hanno origine quelle dell'altro — giungere a studiare sperimentalmente i fenomeni di interferenza in tutta la loro generalità, sia per quanto riguarda la differenza di fase tra le vibrazioni di uno dei suoni e quelle dell'altro, sia per quanto riguarda l'altezza assoluta, regolabile a volontà col regolare la pressione dell'aria, e quindi la velocità di rotazione.

Elettro diapason a movimento continuo del Mercadier.
Dispos. pres. alla *Soc. de Phys.* di Parigi, sed. del 13 maggio 1874. Riprod del dis. di Mercadier.
Legg. espl.: — *A,A'* branche del diap., *P,P'* lam di platino: *a,a'* fili, che toccando *P,P'* quando le branche si avvicinano tra loro, permettono per un istante la circolazione della corrente di una pila; *M* montante su cui è fissata un'elettrocalamita, il cui nucleo di ferro, magnetizzandosi, attrae la branca vicina, per l'istante per il quale circ. la corr. elett.

La sirena doppia, però, se segna l'apogeo e per la ingegnosità e per la importanza e novità degli studi con essa compiuti, non chiude la serie.

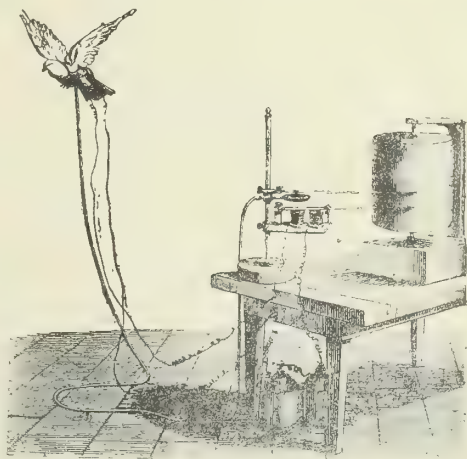
Già ci occorse di accennare a quella del Pellat. Ricorderemo ancora la elettrica di R. Weber, di Neuchâtel, i suoni della quale sono resi da uno o più telefoni per l'interrompersi ed il ristabilirsi della corrente elettrica provocato mediante rotazione di un disco a contorno di segmenti alternativamente conduttori ed isolanti. Essa non rimonta a più che una ventina d' anni. Ricordiamo sopratutto quella *ad onde* del Koenig, quasi contemporanea alla doppia dell'Helmholtz su cui dovremo ritornare

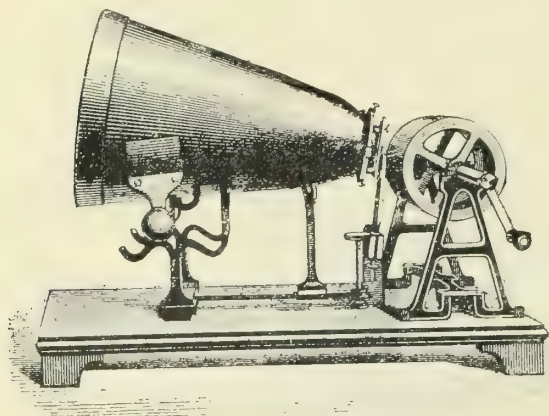
più avanti, e dalla quale certo prese l'Echhorn — 1890 — l'idea della *sirena vocale* nei tentativi di riproduzione delle vocali — riusciti per l'*a* e per

Cronografo elettrico a diapason di Regnault. — Costruzione della Casa Koenig.
Da pubblicazione della Casa costruttrice.

l'*ä* della lingua tedesca, falliti per le altre, forse a cagione di imperfezioni costruttive.

Mentre la sirena si andava così usando e trasformando, altri mezzi di natura ben differente si erano escogitati per lo studio delle vibrazioni.

Uno, per numerarle, aveva — verso il 1831 — ideato il colonnello Savart. A quell' epoca, su la questione dei numeri minimo e massimo — per minuto secondo — di vibrazioni che arrivassero ad impressionare l'orecchio — ossia su la questione del più grave e del più alto tra i suoni percettibili — regnava completa confusione.

La questione era già abbastanza interessante in sè e per sè: si trattava di precisare — traducendola nella espressione la più rigorosa, quella del numero — la estensione di un senso tanto importante. Ma poi essa non era unicamente di pura speculazione: interessava grandemente anche la pratica, per l'arte organaria e per la costruzione del pianoforte. Dai costruttori si andavano infatti estendendo le tastiere di cotesti istrumenti: e, mentre non mancavano scettici che ritenessero come dalle corde e dalle canne corrispondenti ai tasti estremi non si potesse ottenere un suono — suono nel senso vero della parola, ossia musicalmente apprezzabile — non si avevano dai

Studi di Marey. — Uccello che trasmette il moto delle ali ad un segnalatore elettromagnetico e ad un miografo inscrittore.

Dall'opera orig. di Marey: *La Méthode Graphique dans les sciences expérimentales, Paris, Masson*, 1878.

Il fonautografo di Scott: Da pubblicazione della Casa costruttrice (Koenig). — Tra il cilindro registratore e la membrana tesa, il diapason sottile destinato all'ufficio cronografico.

fisici dei dati che tagliassero nettamente la questione. Biot aveva assegnato le 32 vibrazioni per il tono più b sso dell'organo — trovandosi così quasi concorde col Chladni, ma poco col Sauveur — mentre Wollaston aveva espresso esplicitamente l'avviso che «a meno di un difetto nell'organo dell'udito, dura ancora la sensibilità per i movimenti vibratori quando essi sono divenuti dei semplici tremolii capaci d'essere apprezzati col tatto e quasi numerati ». Quanto al limite superiore non si camminava meglio: il Wollaston lo aveva posto nel grido del pipistrello e del grillo dei campi, e, in una maniera a vero dire un po' elastica, ne aveva assegnato il numero come da sei a settecento volte quello corrispondente al suono più grave dell'organo. Si fu per venire a risultati precisi, che Savart ideò nel 1831 di far ruotare con la minor velocità possibile — compatibilmente con l'aversi un suono — una grande sbarra di ferro — aveva circa due piedi e mezzo di lunghezza, due pollici di larghezza e sei linee di spessore — intorno alla sua parte centrale, disponendo — sul robusto banco che portava il perno e la ruota destinata a trasmettere alla sbarra il movimento — due sottilissime tavolette, in modo che la sbarra, nella rotazione, passasse ad un millimetro da esse. Fu con codesta

Fig. 1.

Fig. 2.

Composizione dei moti vibratori di due diapason. ottenuta dal Koenig col metodo del Desains.

Riprod. delle fig. 4 pag. 13 e fig. 9 pag. 17 dell'op. del Koenig *Quelq. Exp. d'Ac.*

Fig. 1. — *Vibraz. parallele* di due diapason aventi numeri di vibrazioni che danno i seguenti rapporti: 1: 2 (*ottava*); altra sim.; 1 : 3 (*ottava della quinta*, come *do* e sol_2 : 2 : 3 *quinta* (come *do* e *sol*); 3 : 4 (*quarta*, come *do* e *fa*); 4 : 5 (*terza maggiore*, come *do* e *mi*); 5 : 8 (*sesta minore*, come *mi* e do_2); 24 : 25 (*semitono minore*, come una nota qualunque e il suo *diesis*); 80 : 81 (*comma*).

Fig. 2. — *Vibraz. perpendicolari tra loro* di due diap. aventi num. di vibraz. che danno i seg. rapp.: 1 : 1 (*unisono*): 1 : 2 (*ottava*) : 5 : 6 (*terza minore*, come *la* e do_2); 15 : 16 (*semitono maggiore*, come *mi* e *fa*).

disposizione che Savart credette di poter fissare il limite minimo a quattordici o sedici vibrazioni per secondo, pur aggiungendo — nella *Note sur le*

limite de la perception des sons graves, in cui descrive codesta disposizione e dà conto delle esperienze relative — che « cette limite ne peut pas être considerée comme absolue ». Notiamo di passaggio che Despretz alcuni anni più tardi — e precisamente nella seduta del 28 aprile 1845 — comunicava all'Accademia di Francia delle esperienze eseguite in parte con un apparecchio analogo ed in parte con lo stesso apparecchio usato dal Savart; esperienze la cui idea gli era venuta assistendo all'inaugurazione dell'organo costruito per S.t Denis dalla celebre Casa dei Cavallier-Coll; da esse il limite minimo era portato molto al di sopra di quello trovato da Savart, e cioè a 32 vibrazioni semplici. Del Savart, poi, ricorderemo ancora quella *ruota dentata* che è descritta su tutti i trattati di fisica, ed è basata sul medesimo principio, atta, però, a dare suoni più acuti. Con essa egli ebbe a valutare in 48000 vibrazioni semplici il limite superiore; cifra, cotesta, che Despretz riconobbe poi — valendosi di una serie di diapason costruiti dal Marloye — doversi elevare a ben 73700, quali corrispondono al re_{10}.

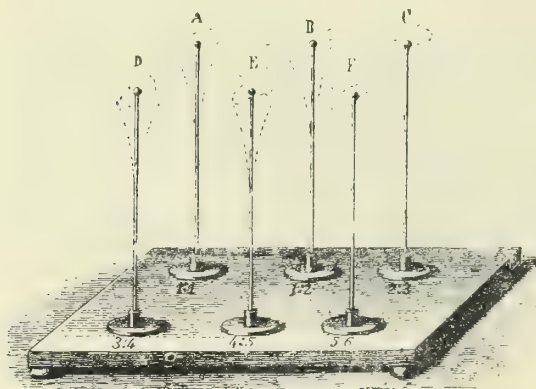
Esper. del Koenig. — Vibraz. di un diap. a forchetta sottile, di cui il suono fondamentale è accompagnato da una o due armoniche.
Dall'op. del Koenig *Quelq. Expér. d'Ac.* fig. 8, pag. 16.

Se cotesti metodi furono abbandonati, è rimasto invece — elegante e prezioso — quello che porta il nome del Duhamel. Il geometra francese aveva preso a trattare una questione enormemente difficile, a studiare cioè col calcolo l'azione strofinatrice dell'archetto su la corda. Quegli studi — contenuti in una memoria letta all'Accademia di Parigi nella seduta del 28 novembre 1836 e in un'altra presentata e riassunta in quella del 4 novembre 1839 — lo avevano portato a dei risultati curiosi e che potevano apparire paradossali: da una corda si può avere un suono più grave di quello che corrisponde alla sua lunghezza intera, e, altro fatto non meno curioso « lorsque l'archet — togliamo dalla seconda delle memorie citate — a constamment plus de vitesse que la corde, le mouvement de celle-ci est le même que si la corde était pincée et abandonnée à elle-même; d'où il suit que la communication du mouvement à l'air et aux corps auxquels la corde est attachée doit finir par la réduire au repos, quoique l'archet continue indéfiniment. »

Inscrizione meccanica delle fig. del Lissajous col metodo del Crova. Dalla monog. di Crova in *Journ. de Phys.* serie I, T. 10.

Assai probabilmente si fu dal volere sottoporre a verifica sperimentale cotesti e gli altri fatti risultatigli dal calcolo, che Duhamel venne condotto ad immaginare un metodo che permettesse di registrare le vibrazioni di una corda. Lo ebbe trovato — applicando in parte una idea del Savart — nel fissare alla corda un minuscolo, delicatissimo, filo metallico, disponendolo in modo che potesse lasciare una

traccia del suo cammino su un vicino cilindro — girevole e trasferibile — ricoperto di nero fumo.

Il metodo del Duhamel si applica tuttora, anche con disposizioni diverse, a qualsiasi corpo vibrante; il Koenig, fissando lo stilo sul *martello* dell'orecchio, lo impiegava per registrare le oscillazioni della membrana del timpano provocate da due canne da organo; e il D.r Lucae per registrare quelle, pure del timpano, determinate da un diapason e trasmesse attraverso la parte ossea del capo.

Il *caleidofono* del Wheatstone.

Esso, poi, riesce molto comodo, spedito e preciso, giacchè permette la valutazione esatta e del numero delle vibrazioni e del tempo in cui esse si compierono; quelle infatti si possono contare sul tracciato, e questo può dedursi dalla velocità del moto di traslazione o di rotazione della superficie su di cui avviene la inscrizione. Anzi, quando si tratti di un minuto secondo o di una frazione abbastanza grande di esso — la metà, per es. — si può anche fare che il principio e la fine di ciascuno di cotesti intervalli vengano segnati su la curva stessa mentre essa si va tracciando; e ciò semplicemente con l'usare, per la registrazione, della carta — tinta, s'intende, col nero fumo — e col perforare poi la carta mediante una scintilla elettrica fatta scattare fra lo stilo stesso e la superficie — metallica — del cilindro su cui la carta è tesa: così facevano — valendosi di una bottiglia di Leyda o di uno dei conosciutissimi rocchetti di Ruhmkorff — il tedesco Beetz — 1868 — per le vibrazioni di un diapason, e l'americano Mayer — 1876 — per altre.

di due moti vibratori rettangolari nellever ghe del Wheatstone con la disposizione del Koenig. Fig. 12, pag. 20 dell'op. cit. *Quelq. Exp. d'Ac.*: 1 unisono; 2 suoni all'ottava; 3 suono fondamentale e ottava della quinta.

Che se si voglia valutare una piccola frazione di secondo, ancora vi si riesce; ed i metodi immaginati a ciò sono veramente ammirabili per la piccolezza estrema del tempo che si riesce a misurare scrupolosamente con essi. Basta perciò che — parallelamente alla linea sinuosa tracciata dal corpo sul quale si esperimenta — se ne determini un'altra da un diapason, del quale si conosca il numero di vibrazioni per minuto secondo e si sappia quindi in quale frazione di secondo si compie una di esse.

Con il metodo del Duhamel, e col sussidio della corrente elettrica, che, mediante delle piccole elettrocalamite — analoghe a quelle delle ordinarie suonerie elettriche — mantiene costantemente in vibrazione il diapason — come fu fatto la prima volta nel 1857 dal Lissajous con un apparecchio, invero, assai complesso, e in seguito con disposizioni molto più semplici, quale quella storica presentata dal Mercadier alla *Société de Physique* di Parigi il 23

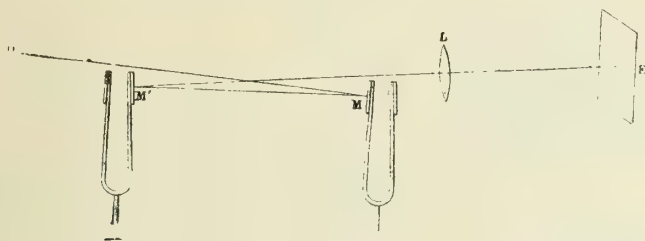



Fig. 2.

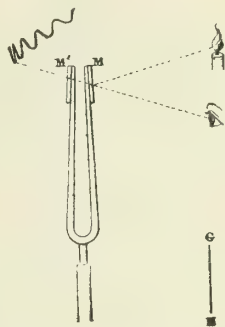



Fig. 1.

Le esp. del Lissajous.

Riprod. della fig. 1, 5, 10 della Tav. 1 della monog. orig. del Lissajous « *Sur l'étude optique des mouvements vibratoires* » in *Annales de Chimie et de Physique, serie* III, T. 41 1857. — Fig. 1. Schema del metodo per rend. sensib. otticamente l'oscillare di un diapason. — Fig. 2. Disposiz. schematica per comporre due moti vibr. parall. proiettando su uno schermo la figura risult. — Fig. 3 Dispos. per osservare dirett. la fig. risult. dalla compos. di due moti vibrat. perpend. tra loro.

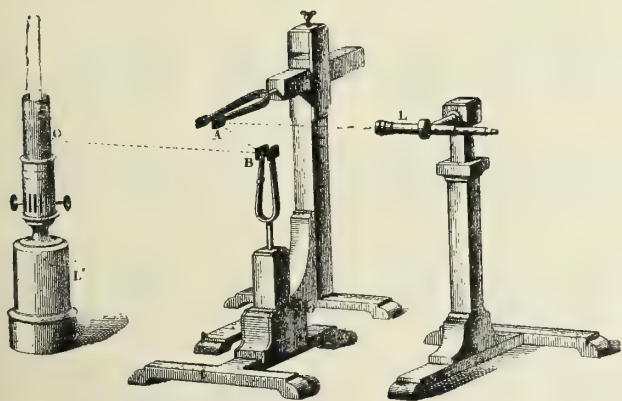



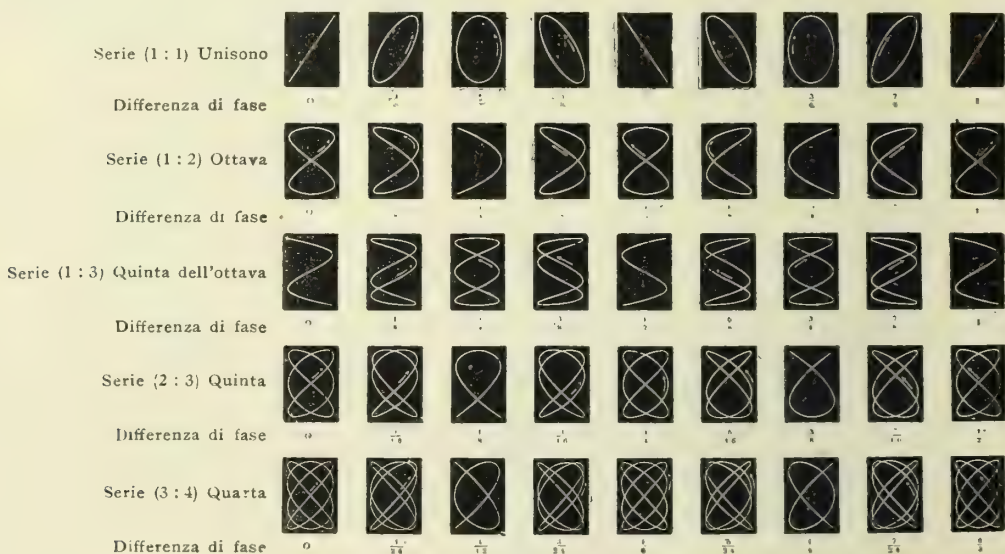
Fig. 3.

maggio del 1873 —; con cotesti mezzi, diciamo, il diapason è divenuto un prezioso misuratore del tempo. Se esso dà duemila vibrazioni semplici per minuto secondo, il tempo in cui è inscritta una di esse è un duemillesimo di minuto secondo — il tempo che un treno diretto avente la velocità di settanta chilometri all'ora impiega a percorrere un centimetro, un solo centimetro! E ancora è a tenersi presente che, ove il cilindro giri rapidamente, il tracciato di una sola vibrazione vi è rappresentato da una linea abbastanza sviluppata perchè si possa misurarne una piccola frazione, spingendo in siffatta maniera la valutazione del tempo a frazioni notevolmente più piccole di quel duemillesimo di minuto secondo.

Ciò — ne sembra — basta a mostrare quanto codesti metodi cronografici introdotti dagli studi dell'acustica siano squisiti, semplici, sicuri. Ma dobbiamo ancora notare che essi offrono un altro grande vantaggio. Tramutando la misura del tempo in quella di una lunghezza tracciata in modo che può rendersi indelebile, riescono, per così dire, ad arrestare l'istante fugace, tenendolo a disposizione del fisico perchè egli lo valuti quando e quante volte vorrà.

Perciò sono diventati di uso generale nelle scienze di osservazione, massime allora che si tratti appunto di misure di grande precisione; e se ne giovano le più disparate tra esse. Servono all' astronomo per la determinazione dei moti dei corpi celesti, e servono pure al fisiologo nel campo apparentemente più modesto — in realtà non meno misterioso e sublime — delle azioni e dei moti che riguardano la vita degli animali: senza di essi il Marey non avrebbe potuto compire quegli studi geniali che ne illustrarono il nome e riuscirono il punto di partenza di tante delle odierne ricerche della biologia.

La esattezza storica vuole però che, su cotesta applicazione di un diapason alla misura del tempo, si dica come fosse già stata indicata — sebbene molto sommariamente — da Th. Young nel suo *A Course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts*, pubblicato nel 1807, ed usata dal Wertheim — 1842 — per le esperienze pubblicate nelle classiche *Recherches*

Serie (1 : 1) Unisono
Differenza di fase
Serie (1 : 2) Ottava
Differenza di fase
Serie (1 : 3) Quinta dell'ottava
Differenza di fase
Serie (2 : 3) Quinta
Differenza di fase
Serie (3 : 4) Quarta
Differenza di fase

Le esperienze del Lissajous. — Curve ottenute con la composizione di due moti vibratori in direzione rettangolare.

Riproduz. della intera Tav. II della mem. orig. citata.

sur l'élasticité. Malgrado ciò, da una quarantina di anni soltanto è diventata di dominio generale.

Ritornando allo studio grafico delle vibrazioni dei corpi, ricordato di passaggio il *fonautografo* dello Scott, operaio tipografo, col quale apparecchio le vibrazioni del corpo sonoro si trasmettono ad uno stilo fissato ad una membrana tesa sul fondo di un paraboloide, e che può quindi servire a registrare le vibrazioni corrispondenti a qualsiasi suono; ricordata la disposizione di esso che il Morey descrisse nel *The American Journal of Sciences and Arts* — 3.ª serie, t. VIII, 1874 — per la quale le vibrazioni della membrana riescono assai amplificate, col fare che esse, mediante una setola, si trasmettano al braccio minore di una leva leggerissima e che la inscrizione venga fatta dall' altro braccio — assai lungo — di questa; ricordato tutto cotesto, occorrerà segnalare il metodo, per la composizione delle vibrazioni di due

diapason, immaginato primamente dal Desains da lui descritto nelle sue *Leçons de physique*, 1860 — ed applicato poi insieme da lui e dal Lissajous. Esso consiste essenzialmente nel fare che le vibrazioni di uno dei corpi siano inscritte su una placca affumicata portata dall'altro. I tracciati risultano così dall'azione combinata dei moti vibratorî di entrambi, e — quando siano ottenuti mediante uno di quegli apparecchi perfetti di cui il Koenig ha saputo arricchire la scienza — possono servire a gettare molta luce su quel che avviene nell'aria durante la produzione contemporanea di due suoni.

Il *microscopio per vibrazioni* dell' Helmholtz.

Fig. 22, pag. 113 dell'op. *Théorie Physiologique de la Musique, Paris, Masson,* 1868.
Legg. espl. — *M* microscopio port. da una delle branche del diapason *G* ; *EE* elettrocalamita med. la quale — col far percorr. al filo delle corr. elettr. intermitt. — si poss. imprim. al diap. delle vibraz. reg ; *B* corsoio in ferro con cui si modif. l'alt. del suono (spost. verso l'estr. della branca, il suono div. più gr., e recipr.).

Siccome poi si tratta di moti veramente pendolari, è possibile studiarli e renderli evidenti col valersi appunto di pendoli, come fece il Crova — verso il 1880 — fissando la superficie destinata a ricevere il tracciato sopra la testa di un pendolo oscillante in un piano perpendicolare a quello di oscillazione di un secondo pendolo soprastante al primo e munito in basso di punta destinata precisamente alla registrazione della curva risultante dal comporsi dei due moti. Röntgen, anzi, — *Wiedemann's Ann.* 1890, T. XL — ebbe semplificato ancora il metodo col ridurlo all'impiego di un solo pendolo; un pendolo — costituito da un filo di acciaio lungo 5 m. e da una sfera pure d'acciaio munita di punta per il tracciamento — a cui, mentre oscillava, imprimeva — mediante una bacchetta di legno — un urto in direzione perpendicolare.

Con codesti metodi grafici ricorderemo quelli ottici, pure elegantissimi.

Fino dal 1827 il Wheatstone, per istudiare i moti composti nelle vibrazioni delle verghe, aveva immaginato di fissarne un estremo, e, mentre vibravano, imprimere ad esse degli urti in direzione trasversale; col munirne le estremità libere di una sferina di vetro argentato, su la quale veniva diretto un raggio di luce, il punto brillante della sferina si vedeva descrivere nello spazio una curva — che pareva continua a cagione della persistenza delle immagini su la retina. — In cotesto *caleidofono* — così lo chiamò il grande fisico inglese — si pensò anche di sostituire la luce della lampada con quella di un piccolo carbone incandescente messo al posto delle sferine; con che l'esperienza divenne — se non più utile — più brillante: non occorre, poi, dire che assai facilmente può ottenersi anche un tracciato grafico di quei movimenti, come fece il Koenig ricorrendo alle consuete disposizioni.

Molto più tardi del Wheatstone — le esperienze, di cui stiamo per dire,

furono comunicate all'Accademia di Francia il 6 aprile 1857 — il Lissajous, professore al « Licée Saint Louis », pensò di valersi senz'altro di specchietti e di un sottile fascio di luce, che, riflesso dallo specchietto recato da uno dei corpi vibranti — il Lissajous si servì primieramente di diapason — andasse a cadere su di un altro specchietto portato dal secondo corpo. Riflesso pure da esso, il pennello luminoso può essere inviato a disegnare per proiezione su uno schermo la curva risultante dai due moti vibratorî, o può essere osservato mediante un piccolo canocchiale.

E del Lissajous è pure l'idea di mettere il corpo vibrante — munito di specchietto, s'intende — in istato di rotazione, mentre su uno schermo si proietta il raggio riflesso dallo specchietto stesso, con che viene a svilupparsi in una linea ondulata quel tratto che sarebbe invece semplicemente rettilineo ove il moto di rotazione venisse soppresso; o l'altra dell'usare un secondo specchio mantenendolo in istato di rotazione, nel caso in cui non sia comodo o possibile imprimere il moto rotatorio al corpo vibrante. E del

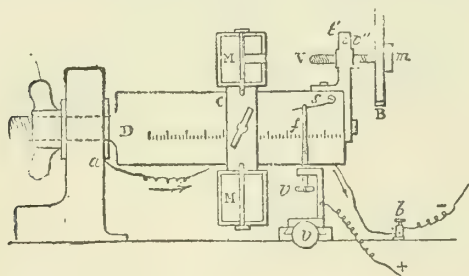
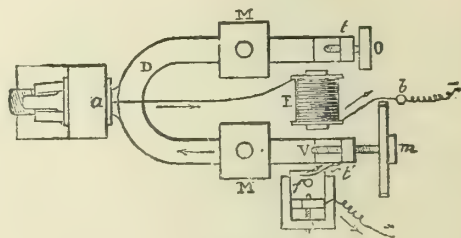



Fig. 1. Fig. 2.

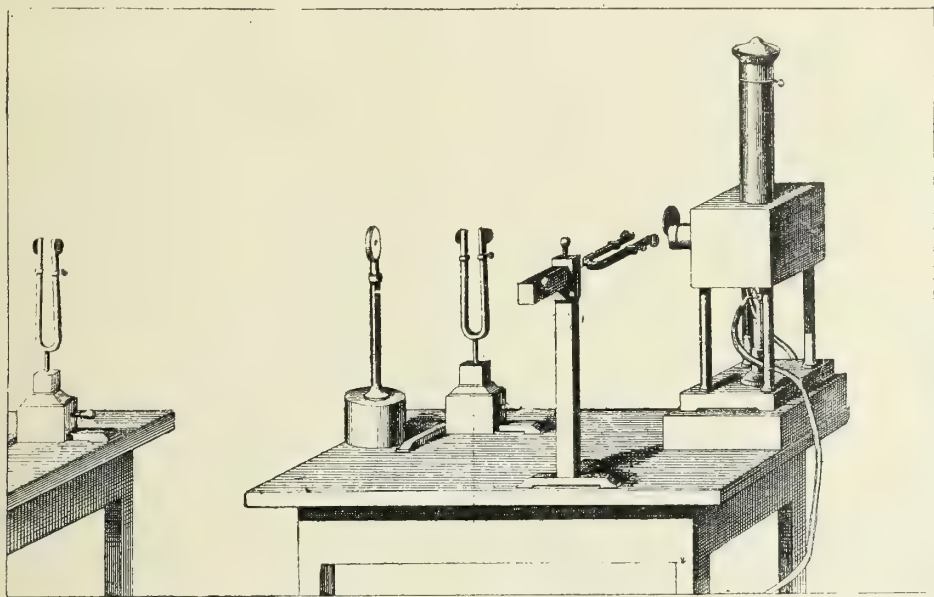
App. del Mercadier per eseg. con due soli diap. le esper. del Lissajous.

Dalla mon. orig. in *Journal de Pyhs.* serie I, T. 5.

Legg. espl. — Fig. 1 uno dei diapason ved. lateralm. : — Fig. 2 lo stesso veduto dalla faccia sup. *E* elettrocalam. a filo grosso : *f* pezzo d'arg. che tocca *s*, filo pure di arg. in modo da permett. intermittentemente, attrav. al diap., il pass. della corr. elettr. per *a*, alla elettrocalam.; *MM* masse in rame riemp. di piombo, scorrev. med. il cors. *C* di quant. determinab. con una scala grad., e dest. a var. la durata di ciasc. oscill. col variare la loro pos. : *m* picc. mass. di piombo spostab. con mecc. a vite delicatissimo, per var. in modo contin. lo stesso per. di oscillaz. senza arrest. le vibraz. del diap. : *O* specchietto.

Lissajous ancora è quel *comparatore dei moti vibratori*, mediante il quale si possono, fra altro, con tutta sicurezza campionare dei diapason confrontandoli con un archetipo, ed al quale certamente accenna l'Helmholtz quando dice che appunto dalle esperienze del Lissajous ebbe l'idea del *microscopio da vibrazioni*.

Si fu con cotesto apparecchio che l'Helmholtz studiò le vibrazioni delle corde. Si valeva di quella di un violino tenuto verticalmente: nel punto da studiarsi — annerita per un tratto la corda — faceva aderire qualche granello di amido che, illuminato opportunamente, offriva un punto brillante. Osservando questo mediante una lente d'ingrandimento recata da una branca di un diapason fissato orizzontalmente, si aveva la visione di una linea brillante, la cui forma dipendeva dalle modalità della vibrazione dell'uno e dell'altro corpo insieme. Dall'effetto risultante e dal conoscersi uno dei moti elementari — quello del diapason — l'Helmholtz poteva risalire a stabilire la modalità dell'altro, e strappare così alla natura il segreto delle ragioni fisiche dei fenomeni riguardanti il timbro del suono delle corde. Tra le pagine della *Teoria fisio-*

logica della Musica, quelle relative ai risultati avuti col « microscopio vibrante » non sono certo tra le ultime per l'importanza e per l'interesse che destano nel lettore; interesse che si comprende tosto, ove appena si tenga pre-

Disposiz. di Augusto Righi per la compos. ottica di tre movim. vibratorî ortogonali.
Riprod. della Tav. IV della monog. orig. « Sulla composizione dei moti vibratori » in *Nuovo Cimento, serie* II, *tomo* IX, 1873.
Legg. espl. — A destra edicola conten. la lamp. elettrica o quella a luce di Drummond: a sin. il terzo corista su cui la lente determina il punto brillante.

sente, anche soltanto da un lato, quale « suggestione » eserciti tutto che riguarda il violino per la parte che ha nelle manifestazioni del sentimento e del genio, e per la influenza che sugli effetti di esso ha la maestria nel modo di toccarne le corde, e, dall'altro, l'interesse di ogni studio che si colleghi ai fenomeni delle particelle estreme dei corpi.

E quanti altri metodi e perfezionamenti nello studio delle vibrazioni!

Mercadier nel 1876 faceva conoscere, — la relazione è nel *Journal de Physique* — il suo lavoro *Sur la composition optique des mouvements vibratoires rectangulaires de période et de phase quelquonques*, nel quale lavoro — eseguito con un apparecchio costrutto dal Duboscq — le esperienze di Lissajous erano state perfezionate ed estese, senza che vi si fossero impiegati più che due soli diapason. A ciò il Mercadier era giunto mediante una ingegnosa disposizione, la quale, con lo spostamento di pesi addizionali, permetteva di far variare la durata di oscillazione, sia di colpo di quantità notevoli, sia lentamente di quantità infinitamente piccole. Il Mercadier aveva ottenuto « le figure rappresentative di tutti gli intervalli compresi tra l'unisono e l'ottava », aveva potuto renderle assolutamente fisse, e, ciò che era di non minore interesse, aveva potuto, per una combinazione qualunque, ottenerle — pure fisse, s'intende — per una differenza qualunque di fase tra le vibrazioni. Era — per tutt' altra via — la estensione ai diapason — ottenuta con due soli di essi — degli studi fatti da Helmholtz con la sirena doppia su l'influenza che un suono esercita su di un altro, e sulla parte che in cotesta influenza hanno le differenze nelle fasi delle vibrazioni dei due sistemi.

Ci sia concesso ricordare ancora la disposizione — descritta nelle *Memorie dell'Accademia di Bologna* del 1872 — che E. Villari ha dato all'esperienza di Lissajous col fare che le linee luminose si proiettino su uno schermo costituito dalle alette di un molinello girante. Quando i diapason oscillano, l'uno in un piano parallelo all'asse del molinello, l'altro in un piano perpendicolare ad esso, ogni figura appare in parecchi piani, a cagione del moto di rotazione e della persistenza delle immagini su la retina; ma una qualunque di quelle apparizioni si congiunge alla precedente ed alla successiva: così il cerchio corrispondente all' accordo perfetto viene ad essere trasformato in una elegantissima elica. Che se invece i diapason oscillano entrambi in un piano parallelo all'asse, si osservano le consuete linee sinuose: ed ove si producano dei battimenti — quei rinforzi periodici del suono che sono dovuti al coincidere intermittente di vibrazioni per due corpi non accordati all'unisono — essi sono resi sensibili all'occhio da ondulazioni concomitanti della ampiezza delle linee. Per siffatto modo, dei due sensi — dell'occhio, cioè, e dell'orecchio — ciascuno segue le ondulazioni del fenomeno percepito dall' altro: giustamente il Duclaux trovava assai interessante cotesta esperienza.

Esper. di Melde su la misura del num. delle vibr. med. i suoni resi dalle bolle d' aria di un sifone.
Riproduz. dalla Mem. orig. del Melde « *Ueber eine eigenthümliche Art Klangpulse zu erzeugen und zu zählen* » in *Poggendorff's Annalen* T. 131. Fig. dalla 8 alla 14 della Tavola III.

Ed interessante è pure il metodo col quale il Felici — il rimpianto professore dell' Ateneo Pisano che fu maestro degno ad una schiera eletta di fisici italiani cospicui — proiettava coteste figure del Lissajous, componendo i moti di due corde. Esse — veggasi il *Nuovo Cimento* del 1884 — erano tese in modo da dare vibrazioni in un rapporto semplice. L'una era orizzontale, l'altra verticale, dietro la prima: un cartoncino verticale con una fessura parallela alla prima e recato da essa bastava perchè, dirigendo attraverso alla fessura un raggio di luce, si potesse proiettare — oscura su fondo brillante — la figura risultante dalla composizione dei due moti vibratorî.

L'attenzione di un altro italiano — fisico grande, geniale sperimentatore — era stata richiamata dagli studi del Lissajous « per gli eleganti teoremi e le belle proprietà riguardanti le traiettorie risultanti »: vogliamo dire di Augusto Righi. Egli estese il lavoro del fisico francese al caso di tre moti vibratorî, trattandolo analiticamente e confortando i risultati con esperienze, delle quali egli trasse l'idea « dalle belle esperienze del sig. Prof. E. Villari » venute in luce appunto quando già era quasi ultimato il lavoro matematico; lavoro esauriente in cui una grande semplicità mette in rilievo ancora maggiore la profondità della trattazione.

Volendo ripetere le esperienze del Righi, occorrono tre coristi, muniti ciascuno di specchietto ad uno dei rami e di un dischetto d'ottone coperto di carta bianca e fissato — come contropeso — all'altro ramo. Due di essi

si dispongono come nell'esperienza del Lissajous — uno orizzontalmente, l'altro verticalmente —. « Un raggio di luce solare o di qualunque altra sorgente intensa, p. es. luce Drummond o luce elettrica, giunge allo specchio del corista verticale e riflettendosi va a percuotere lo specchio del corista orizzontale; nuovamente si riflette su questo, e prendendo una direzione orizzontale attraversa una lente convergente acromatica a lungo fuoco, che incontra nel suo tragitto. Questa lente produce una piccola immagine del foro, dal quale parte la luce, sopra la carta bianca portata, nel modo che si è detto, da un terzo corista disposto verticalmente a qualche distanza ». Si capisce poi come quando i tre coristi vibrino, cotesta immagine puntiforme percorra nello spazio una linea, la quale — perchè l'immagine è brillante, e per la permanenza di essa su la retina — si disegnerà luminosa nello spazio. Con cotesta disposizione — nella quale erano facili e la mutazione e lo scambio reciproco dei coristi, e con cui entro certi limiti si otteneva di variare la differenza di fase — Augusto Righi potè riprodurre sperimentalmente le curve, delle quali aveva stabilita col calcolo la forma ed assegnate le regole di costruzione grafica.

Fig

Fig. 2.

Esp. del Savart su le vibr. longitudinali dei solidi.
Fig. 1. Dispos. delle lin. nodali otten. med. sabbia, e mostranti come ai nodi su una faccia corrisp. i ventri su l'opposta. Riprod. della fig. 12, Tav. I. della Mem. orig. « *Sur la Communic. des mouv. vibratoires entre les corps solides* ». In *Ann. de Ch. et de Phys.*, T. XIV, 1820.
Fig. 2. Linee nod. elicoid. di una verga cilind. otten. con lo spost. di un anello abbracc. la verga e col var. — girando la verga — il lato di essa che si trova in alto. Riprod. delle fig. 81, 83, 86 della Mem. orig. « *Sur les vibrations des corps solides, considerées en général* » in *Ann. de Chim. et de Phys.* T. XXV, 1824.

Il bel lavoro è accompagnato da una moltitudine di esse, disposte in modo che producano — se osservate come si fa per le vedute stereoscopiche — il caratteristico effetto del rilievo, permettendo così di goderne la bellezza anche a coloro cui è negata la fortuna di ripetere l'esperienza.

Come si vede, tanto i metodi grafici, quanto quelli ottici, sono insieme di una grande eleganza e di una grande sensibilità. Essi — o direttamente, o confermando i risultamenti del calcolo — hanno contribuito in modo notevole al progresso della scienza. Di più hanno giovato immensamente a volgarizzarne le cognizioni, vogliasi col presentarle sotto forma accessibile a chicchessia, vogliasi con le attrattive che coteste esperienze hanno in sè. Per questo lato — oltre le celebri lezioni del Tyndall — sono degne di essere menzionate le conferenze tenute dal Desains a Parigi, e l' album esposto — con una serie numerosa di istrumenti figli del suo genio inventivo — dal Koenig in quella *soirée scientifique* del 29 ottobre 1864 al *Conservatoire des arts et métiers*, della quale vive ancora la memoria: e se alle prime il pubblico stupiva nel vedere, mediante uno specchietto fissato ad una membrana ed un esile raggio di luce intensa da esso riflesso, rese sensibili le vibrazioni eccitate da un clarinetto situato a parecchi metri di distanza, alla seconda i fogli del celebre album del Koenig in cui erano raccolti i principali risultati

da lui ottenuti nello studio grafico dei suoni esponevano anche ai profani nel linguaggio più evidente ed elegante le meraviglie delle vibrazioni elastiche dei corpi; meraviglie di cui sono figlie degne le armonie dei suoni.

Alla sfuggita accenniamo a metodi che, pur essendo ingegnosi, non ebbero larga applicazione. Lootens, gesuita belga, ideò di iniettare del fumo nei tubi sonori per istudiarne le vibrazioni, e Fossati — *Nuovo Cimento*, 1885 — di usare invece un microfono, messo in un circuito telefonico e portato nei vari punti del tubo per esplorarne le condizioni, ovvero — per rendere sensibili i fatti a molti contemporaneamente — fatta di vetro una parete della canna, di approfittare della scintilla che i moti dell'aria possono determinare tra i carboni del microfono stesso. Wead — *The Am. Journ of Sciences and Arts*, 1886, T. 32 — studiava la durata del contatto del martelletto del pianoforte con la corda ricoprendo il primo con una foglia d'oro così da poter far passare una corrente elettrica per tutto il tempo in cui era stabilito il contatto; e Strouhal — tendendo una corda musicale parallelamente alle generatrici di una colonna verticale a cui imprimeva moto di rotazione intorno all'asse — studiava i suoni — da lui detti *di strofinamento* — del tipo di quelli che sono dati da una bacchetta od una frusta, quando fendono rapidamente l'aria — escogitando anche un mezzo, invero molto

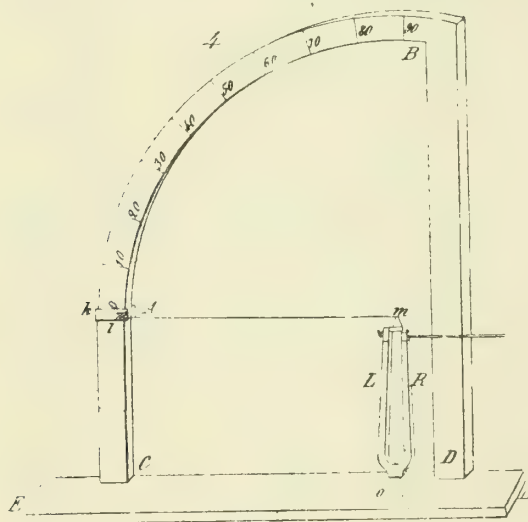



Fig. 1.

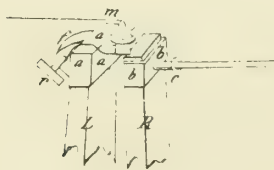



Fig. 2.

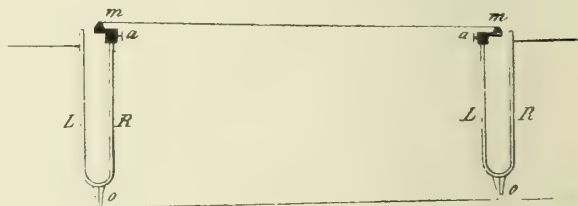



Fig. 3

Esper. del Melde su le vibr. long. delle corde.

Riprod. dalla monor. orig. « *Ueber die Erregung stehender Wellen eines fadenförmigen Korpers* » in *Annalen der Physik und Chemie* T. CIX. Fig. 4, 5, 6 della Tav. II.

Fig. 1. Dispos. per trasmett. alla corda le vibraz. di un diapason, e per variare l'incl. della corda.

Fig. 2. Particolari del colleg. della corda al diapason.

Fig. 3. Corda tesa tra dne diapason.

singolare, per conoscere la velocità del vento, quando sia abbastanza grande, dalla nota che esso fa rendere ai fili telegrafici o telefonici. Melde — *Pogg. Ann.* T. 131, 1867 — indicava come si possa misurare il numero di vibrazioni di un suono ricorrendo a quello reso dalle bolle d'aria che s'introducono in un sifone, quando esso scarica una quantità di liquido uguale a quella che va giungendo al recipiente; e Savart — già fino dal 1820 e 1825 — aveva studiato le vibrazioni longitudinali delle verghe e delle lamine lunghe, usando delle polveri pesanti come aveva fatto il Chladni per le piastre, o, se si trattava di

verghe cilindriche, disponendole orizzontalmente, infilandovi degli anelli di carta, e determinando — analogamente a quanto aveva fatto Sauveur per i nodi delle corde nelle vibrazioni trasversali — le posizioni di riposo degli anelli stessi; metodi codesti, semplicissimi, coi quali l'illustre fisico giunse a mettere in luce tanti fatti singolari, come quello dell'essere i nodi su l'una delle facce di una lamina corrispondenti ai ventri su l'opposta e reciprocamente, e del girare il nodo, in una verga cilindrica, a seconda di una linea elicoidale.

Ricordati codesti lavori per dare esempio della varietà di vie e di problemi di cui è ricca la storia dello studio delle vibrazioni dei corpi sonori, dobbiamo soffermarci su due altri metodi ancora: quello del Melde per lo studio delle vibrazioni longitudinali delle corde, ed il metodo *stroboscopico*, riservando alla parte relativa al linguaggio articolato i procedimenti che per esso vennero impiegati.

Il metodo del Melde — le cui due monografie classiche sono datate da Marburg il 23 novembre 1859 e l'11 ottobre 1860 — consiste essenzialmente nel far vibrare la corda collegandone un capo ad un cavalletto recato da un diapason: se la lunghezza della corda è tale che il periodo delle sue vibrazioni longitudinali uguagli quello delle vibrazioni trasversali del diapason, basta far vibrare questo perchè la corda entri in vibrazione. Cotesto metodo tanto semplice permette — col disporre la corda orizzontale, od inclinata all'orizzonte, col variarne la tensione, col fissarla tra due diapason, col variare il punto di attacco della corda col diapason — una grande quantità di ricerche; ricerche che il Melde ha continuato per oltre venti anni, e nelle quali fu seguito da altri fisici, tra cui merita menzione il Lowery per la trovata originale — *The Am. Journ. of Sc. a. Arts*, T. 7, 1874 — sul modo di far variare il peso tenditore della corda. Il fisico americano, per ottenere che cotesta variazione si potesse fare in modo continuo, usava come peso tenditore un tubo cilindrico di vetro zavorrato in modo che dovesse rimanere verticale entro l'acqua contenuta in opportuno recipiente: col variare il livello di questa egli variava la spinta ricevuta dal cilindro, e conseguentemente la tensione della corda.

L'app. del Toepler per oss. col *metodo stroboscopico* le vibraz. di una fiamma.

Dalla mem. orig. « *Das Princip der stroboskopischen Scheiben als vortheilhaftes Hülfsmittel zur optischen Analyse tönender Körper* ». In *Poggendorff's Ann.* T. CXXVIII, fig. 1. Tavola V.

Quanto al metodo *stroboscopico*, l'origine vuole esserne ricercata in quella lettera del 20 gennaio 1833 inserita nella puntata 6.ª del 7.° tomo della *Correspondance mathématique et physique de l'Observatoire de Bruxelles*, nella quale il Plateau aveva sviluppato l'idea del *fenakisticopio*; il notissimo giocattolo che forma la gioia dei nostri fanciulli, nel quale si possono vedere immagini animate — come quelle di un cavallo che salta, o di un fabbro che batte il

ferro — guardando, attraverso ad opportuna fessura, riflesse in uno specchio delle figure rappresentanti fasi successive della scena.

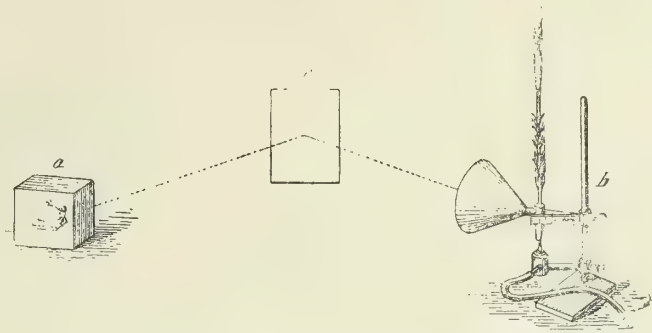
L'idea del grande fisico belga si riduceva in sostanza a questo: se davanti ad un oggetto in moto si fa ruotare — intorno al centro — un disco opaco, il quale porti — disposti in una circonferenza concentrica al disco dei fori, e l'oggetto stesso si guarda attraverso a quel foro che successivamente si va presentando davanti all' occhio, non si vedrà se non la serie delle posizioni che l'oggetto ha nel momento in cui il foro passa davanti all'occhio. Ove il moto del corpo sia talmente rapido — come quello del tizzone acceso menato in giro dal fanciullo — che l'occhio non possa — con la visione diretta — avvertire la sosta dell'oggetto nelle diverse posizioni, queste si renderanno invece percettibili se osservate con la interposizione del disco, come se l' oggetto fosse saltato da una posizione all' altra: sarà possibile con ciò analizzare il movimento. È l'idea fondamentale di una moltitudine di apparecchi di trattenimento, dei quali il *cinematografo* e il *mutoscopio* rappresentano cronologicamente gli ultimi individui. Essa aveva trovato subito chi ne aveva tratto partito, e nello stesso anno 1833 il Plateau nella memoria *Des illusions d'Optique sur les quelles se fonde le petit appareil appelé recemment phénakisticope* — pubblicata nel T. 53 degli *Ann. de Ch. et de Phys.* — raccontava come delle figure da lui disegnate con cura costituissero già « un nouvel instrument qui se publie à Londre sous le nom de *fantascope* ».

L' apparecchio *ad onde* del Wheatstone.

Si capisce facilmente come cotesta idea si possa applicare con grande utilità all' analisi del moto vibratorio dei corpi sonori: essa permette di sorprendere — se così potessimo esprimerci — il corpo in una sua posizione qualunque, e — regolando opportunamente la velocità di rotazione in relazione al numero dei fori — di osservarla quante volte si voglia in modo che il corpo vi appaia immobile, ovvero di osservarne diverse successive, rendendosi conto delle particolarità del movimento.

Si possono così rilevare, come già aveva fatto il Savart, le forme della vena liquida, e — per rimanere nel campo dell'acustica — determinare assai facilmente, nella realtà, quelle forme delle corde vibranti alle quali fisici del secolo XVIII non erano arrivati se non per via laboriosa di sagace induzione e di calcoli complessi.

E se ne valse il Töpler specialmente per lo studio delle vibrazioni che si possono determinare nelle fiamme, come espone nel lavoro pubblicato nei

Pogg. Ann. del maggio 1866; il Mach in quelle ricerche che, col titolo « *Die Stroboskopische Untersuchung tönender Körper* » pubblicava nel *Wiener akademischer Anzeiger* del 1870 e più tardi — Praga, 1873 — nelle *Optische Versuche*; se ne valse lord Rayleigh — *Philosophical Magazine*, 1884 — nell'esame delle vibrazioni dei getti di fumo sortenti da tubi affilati, e di quelli di acqua diretti dal basso in alto in una massa pure d'acqua, e ch'egli ingegnosamente riusciva a tenere distinti nella massa ambiente col disciogliere in questa del solfato ferroso destinato a togliere — a quella che, formato il getto, doveva confondersi con l'altra — la intensa colorazione violetta datale — perchè spiccasse nitidamente — con permanganato di potassa.

Sensibililà delle fiamme per il moto ondulatorio nella propag. del suono.

Esp. del Tyndall su la riflessione del suono. — Lett. fatta nei 1874 alla *Royal Society of London*.

Legg. espl.: — *a* scatola cont. un campanello elettrico, tappezzata di stoffa, chiusa ermeticameute tranne che nel punto centrale della faccia rivolta verso *c*; *c* tavola piana di legno; *b* sopporto per l'imbuto collettore e la fiamma sensibile.

Notiamo da ultimo, su cotesti artifici miranti a mostrare la forma che in un istante qualsiasi assume un corpo vibrante, che vi si presta assai bene la scintilla elettrica — la cui durata può essere anche di una piccola frazione di un diecimillesimo di minuto secondo, sì che alla luce del lampo pare immobile una locomotiva corrente a tutto vapore. — Una bottiglia di Leida ed una serie di minuscole losanghe di stagnola ingommate su di una lastra di vetro in modo che la scarica della bottiglia abbia a ripetersi tra l'uno e l'altro dei pezzetti di stagnola, come avviene nel *quadro* o nel *tubo scintillante*, offrono un mezzo semplice ed elegante con cui illuminare benissimo — ed in modo abbastanza fugace perchè paia immobile — un corpo vibrante anche notevolmente esteso.

Non meno ingegnosi e fecondi furono i metodi escogitati per lo studio sperimentale degli effetti che le vibrazioni producono nei corpi a cui si trasmettono.

Ecco l'apparecchio di Wheatstone, con cui si possono mostrare le curve teoriche di due sistemi di onde semplici — nel medesimo piano od in piani perpendicolari l'uno all'altro — e quelle di un sistema di onde piane e di uno circolare, e persino di due sistemi di onde circolari.

Ecco Crova e Tyndall mostrare con le proiezioni il formarsi, l'avanzarsi, il riflettersi dell'onda sonora, il suo interferire con altre onde, rendendo così quasi tangibile il fatto del rinforzo reciproco dei suoni o l'altro del loro reciproco attutirsi. Ecco, fino dal principio del secolo, il Brugnatelli a Pavia, il De-la-Rive a Ginevra, il Pictet, pure a Ginevra, studiare la fiamma cantante di Higgins: il Faraday fino dal 1818 dare alla scienza la memoria « sui suoni prodotti dalle fiamme nei tubi »: l'americano professor Leconte durante un concerto osservare, com'egli stesso narra — *Silliman's American Journal*, gennaio 1858 — la fiamma di un becco a farfalla oscillare in maniera sincronica

sotto l'azione delle note musicali — segnatamente sotto quelle del violoncello — e il Tyndall e il Barrett fare di coteste fiamme sensibili un mezzo elegante per dimostrare lo stato ondulatorio dell'aria, e riscontrarvi una tale squisitezza di eccitabilità che il Tyndall — nella memoranda comunicazione del 18 febbraio 1867 alla *Royal Institution* di Londra — poteva mostrarne una — di 60 centimetri di altezza — rispondere, accorciandosi, al suono di un mezzo scellino cadente — a più che venti metri di distanza — dall'altezza di pochi centimetri su monete tenute nella mano.

Fig. 1. Fig. 2.

Esp. del Tyndall su le fiamme sensibili.

Fig. 1. Fiamma a gas nello stato normale. — Fig. 2. Forma della stessa per un aumento opportuno nella pressione combinato con l'azione di un fischietto.

Riprod. delle fig. 5 e 6 della monog. del Tyndall « *On the Action of Sonorous Vibrations on Gaseous and Liquids Jets* » in *Philosophical Magazine*, Maggio 1867.

In coteste esperienze su le fiamme sensibili anche la scienza italiana ha la sua parte, non soltanto per gli studi già accennati del Brugnatelli. Alludiamo anzitutto alle esperienze del 1869 del Villari su la interessante stratificazione da lui scoperta di una fiamma a farfalla per vibrazioni energiche di un diapason posto vicino all'orificio; poi, e principalmente, alle importanti memorie che il Govi presentò all'*Accademia delle Scienze di Torino* nelle adunanze del 13 febbraio e 13 marzo 1870.

Fig. 1. Fig. 2.

Esp. del Tyndal su le fiamme sensibili.

Fig. 1. Fiamma brillante e corta che diviene lunga e fumosa per l'azione di un fischietto. — Fig. 2. Fiamma lunga e fumosa che diviene corta e brillante per la med. az.

Fig. 9, 10, 11, 12, della monog. cit.

In esse il fisico nostro espone anzitutto come, mentre le esperienze del Tyndall, del Barrett e del berlinese conte Schaffgottsch — alle cui prime esperienze si doveva l'avere il Tyndall preso a studiare il fenomeno — richiedevano tubi appropriati o pressioni di gas fortissime — difficilmente ottenibili nei laboratorî — egli fosse riuscito ad ottenerne di sensibilissime con un modo « assai più facile e alla portata di tutti ». Consiste esso, essenzialmente, « nel sovrapporre a un getto di gas ordinario (uscente da un forellino circolare o da un tubetto di rame o di vetro di 1 mm. circa di diametro) una tela metallica a maglie nè troppo serrate nè troppo larghe e nell'accendere il gaz al disopra della tela ». Come si vede, tutto che di più semplice si può immaginare: il Govi è qui come sempre nella multiforme e copiosa sua opera scientifica il fisico veramente geniale che con il poco sa ottenere il molto.

Cotesta — giacchè ce ne è offerta l'occasione lo notiamo, sia pure di pas-

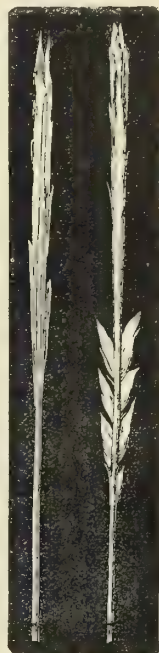
saggio — è una delle caratteristiche della scienza italiana, di cui appunto la genialità risulta singolarmente perspicua, quando a riscontro del contributo da essa portato al progresso delle cognizioni si pongono i mezzi di cui solo, nel complesso, ha potuto disporre, inferiori di gran lunga a quelli che furono mai sempre concessi agli studiosi di altre nazioni. Nel Govi poi — in cui fu pure vasta e profonda coltura nella storia della scienza — siffatta caratteristica spiccò in modo speciale. Per cotesto lato egli è scolpito in quel suo: « un fisico deve sempre avere in tasca un pezzettino di cera » che ripeteva spesso, e che adombra il concetto tanto vero dell'essere molte volte cagione d'insuccesso o di perditempi il non avere sottomano un nonnulla che permetta di equilibrare, di sollevare, di appiccicare, di chiudere.

Esp. del Tyndall su le fiamme sensibili.
Effetto di un suono di durata brevissima. — Riprod. della fig. 13 della monog. cit.

Però l'avere ridotto a tanta semplicità il mezzo per la produzione delle fiamme sensibili non è la sola cosa che faccia meritevoli di nota quelle memorie del Govi. In esse egli è penetrato addentro nell'anatomia, se ci è lecito così esprimerci, della fiamma scoprendo il fatto che questa nel vibrare si divide in un certo numero di regioni conoidali concentriche — all'esterno un cono oscuro di gas non acceso, abbracciante un inviluppo conico porporino circondato alla base da un'aureola verdastra e terminante in alto con una parte più luminosa: entro questo, un secondo inviluppo oscuro all'esterno, luminoso all'interno, che si assottiglia verso l'alto, e finalmente una corona mobile di tinta azzurrognola. — Di più, primo, egli ha dato completa — per quanto succinta — la esposizione del fenomeno, ed ha assegnato le ragioni delle sue apparenti singolarità, in quei fatti relativi ai suoni composti che erano stati da poco scoperti ed esposti dall'Helmholtz, e di cui si dirà tra breve. Nè basta ancora. Il Govi, percorrendo da maestro una via in cui il Tyndall aveva mosso soltanto qualche passo, dà — nella seconda di quelle memorie — lo studio — basato su mezzi nuovi d'esperimentare — delle colonne di gas freddi, vibranti liberamente nell'aria; studio che ha messo in luce fatti nuovi, tra cui, veramente singolare, questo, che riguarda « un getto di gas che zampilli nell'aria sotto una pressione di 20 a 22 millim. di acqua all'incirca »: ove si produca un suono puro e d'intensità sufficiente, anche a non piccola distanza dal getto, questo generalmente si accorcia, e s'accorcia tanto più, quanto più il suono che lo influenza è acuto, in modo da riprodurre nei rapporti delle sue diverse lunghezze quelli che avrebbero fra loro le corde vibranti, o le colonne gassose atte a dar le medesime note che troncarono il getto.

Disposiz. di Bouty per otten. *fiamme cantanti*.
Dalla mon. orig. in *Journ. de Phys.*, *Serie* III, T. V.
Legg. espl. — *A* tappo di sughero, spess. 7 a 8 mm.; *t* tubo di 15 a 18 mm. di lungh. e 2 di diam.; *B* tubo di vetro; *C* giunto in caucciù.

Il getto diventa, in una parola, la colonna vibrante di un istrumento a vento: la scoperta del Govi si potrebbe dire il mezzo per costrurre un istrumento a fiato senza pareti solide. Non è forse geniale?

Su le fiamme *sensibili* e su quelle *cantanti* la storia della fisica registra

Ritratto e firma autogr. cort. favoriti dal cognato del Koenig, prof. E. Neumann di Koenigsberg.

molti altri studi: importanti, tra essi, quelli del Bouty e del Neyreneuf. Il primo — *Journ. de Phys.* serie III[a], T 4 e 5 — pervenne pure ad una disposizione molto semplice per la loro produzione, e, combattendo le idee del Tyndall, ne diede una teoria nuova che assegna a causa dei loro fenomeni i fatti della combustione ed il formarsi di un inviluppo — *une enceinte*, dice il fisico francese — di minuscoli *detonatori.*

Il secondo, in uno studio pure molto profondo della questione — *Ann. de Ch. et de Phys.*, T. 23 del 1889 — e delle circostanze che accompagnano il fenomeno, giunse alla conclusione che la *fiamma a nodi* mostra in molti punti la sua analogia con la vena liquida del Savart; conclusione importante per il fisico, perchè, appaiando due ordini di fatti in apparenza assai diversi, gli fornisce un nuovo argomento per quel che spetta alla universalità e del modo di costituzione intima della materia e di quello con cui si manifesta l'azione delle cause fisiche.

Coteste fiamme sensibili — oltre che presentare interesse per la fisica molecolare, quando si considerano in sè e per sè — costituiscono pure un mezzo comodo per l'esplorazione di uno spazio in cui si propaghino delle onde sonore: ne avremo dato un esempio convincente, quando avremo ricordato gli eleganti esperimenti di Leconte — *The Am. Journ. of Sc. and Arts*, 1889 — riuscito — esplorando l'aria appunto mediante una di coteste fiamme — a ripetere per il suono, degli esperimenti di constatazione di frange di interferenza simili a quelle date dai due specchi di Fresnel e di cui si è parlato (1) a proposito delle frange della luce.

Capsula manometrica del Koenig.
Dalla monog. orig. in *Ann. der Phys. u. Chemie*, Tomo CXXII. Tav. 1, fig. 6.
Legg. espl. — *a* tubo adduttore del gas ill.; *b* tubo term. nel beccuccio di accens.

L'applicazione più importante della fiamma allo studio dei suoni, è tuttavia quella fatta dal Koenig. Non si tratta però di una fiamma cantante, o che vibri direttamente sotto l'azione di un corpo sonoro. *La fiamma manometrica* — di cui dovremo esporre tra non molto benemerenze e glorie — aveva fatto la prima apparizione a Londra, all'esposizione del 1862, ed è descritta nella

(1) V. Introduzione, pag. 44, 45.

quarta memoria dell'inventore « *Ueber ein Mittel den wechselnden Dichtigkeitszustand der Luft in tönenden Orgelpfeisen sichtbar darzustellen* » inserita nel T. 122 degli Annali di Poggendorff.

Si tratta di una piccola cavità — che l'inventore ha chiamato *capsula manometrica* — praticata in una tavoletta di legno, chiusa al fondo da una membrana sottile, e che può mantenersi piena di gas da illuminazione mercè un apposito condottino terminante alla faccia opposta: il gas, poi, può uscire per un beccuccio sporgente dalla stessa faccia, e, ove sia acceso, dà una sottile e corta fiammella. Che se si fa che l'aria si condensi o si dilati contro la membrana, con l'essere questa obbligata ad inflettersi verso la cavità piena di gas o nel senso opposto, si vengono a determinare delle variazioni nell'altezza della fiamma; e di conseguenza in uno specchio cubico — che si faccia ruotare in posizione da vedervisi riflessa l'immagine — apparirà una listerella luminosa di altezza costante piuttosto che a dentellature, secondo che contro la membrana di fondo l'aria avrà una densità costante o sarà soggetta alle alternative di cui si disse.

Basta che arrivino le onde di un suono qualunque contro la membrana perchè si notino le dentellature.

È mezzo di grande semplicità ed eleganza insieme. Esso è pure di estrema squisitezza: la minima differenza nel suono è accusata da variazione nelle dentellature; e se il suono risulta da più altri che si producano contemporaneamente in un medesimo corpo — è caso assai comune — ovvero in corpi diversi — nel quale caso, per lo studio, le singole capsule si dispongono con un becco unico — ogni dentellatura mostra dentellature secondarie in numero avente rapporto costante con quelli delle vibrazioni dei suoni elementari.

Disposiz. di fiamme manom. per confronto tra i suoni dati da due canne sonore.
Dalla monog. cit., riprod. della fig. 8, tav. I.

Nella lunga serie dei mezzi per esperimentare sul suono, coteste capsule manometriche — con le quali chiudiamo la rassegna incompleta e sommaria, quantunque non breve — hanno diritto ad un posto d'onore.

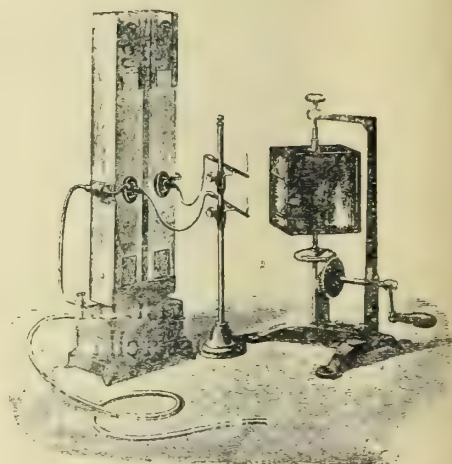
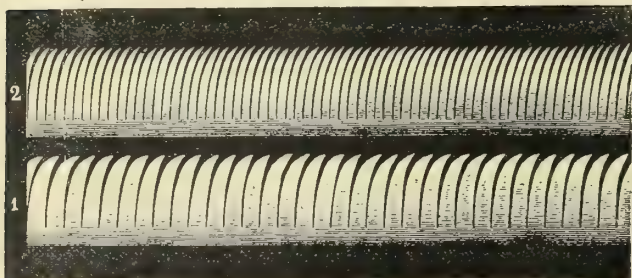
Basterebbe ad assegnarlo ad esse la parte avuta nel risolvere i problemi relativi all'analisi ed al timbro dei suoni.

III.

Il timbro dei suoni. — L'analisi e la riproduzione della parola. — Il meccanismo dell'audizione.

Tra le cose più notevoli per genialità — e che ebbero maggiore importanza e più estesa applicazione — dell'opera insigne del Fourier (1) è un teo-

(1) V. Introduz. pag. 19.

rema matematico che ne porta il nome glorioso. Esso si applica anche ai moti vibratori del suono, ed allora si può riassumere, come faceva l'Helmholtz, col dire che « ogni moto vibratorio dell'aria nel condotto uditivo può sempre ed in una sola maniera essere considerato come la somma di un certo numero di moti vibratori pendolari corrispondenti ai suoni elementari del suono considerato ». In altri termini — e tenendo conto del senso in cui vuol essere intesa la parola « elementari » — un suono dato da una corda musicale, da un istrumento ad ancia, dallo stesso organo vocale dell'uomo può considerarsi come il risultato della fusione di più suoni, che sono: la nota che serve a classificare musicalmente quel suono nella scala diatonica e le note i cui numeri di vibrazioni ne sono rispettivamente il doppio, il triplo, il quadruplo, ecc., o, come si dice, *armoniche* della prima, quali sono, a mo' d'esempio, per il *do* di una gamma qualunque il *do* ed il *sol* della gamma successiva, il *do* ed il *mi* della successiva a questa, ecc.

Fiamme man. di due canne sonore all'ottava.
Riprod. della fig. 21 e 22 dell'op. Koenig « *Quelq. Exp. d'Ac.* ». — Il primo disegno di queste fiamme pubb. dal Koenig, a semplice contorno, senza il fondo nero, si trova nel vol. CXLVI, Tav. II fig. 3, degli *Ann. di Poggendorff*, ove è pure la relativa mem. orig. del Koenig « *Die manometrischen Flammen* ».

Ciò è scritto nelle formule della matematica. Ma — come acutamente aveva stabilito l'Ohm fino dal 1843 — l'orecchio non può fare cotesta decomposizione della nota nei suoni elementari: è un'analisi che il calcolo ha reso possibile alla mente dell'uomo, ma che — salvo qualche caso eccezionale, ed ancora solo mercè una lunga educazione — non gli permette il senso.

Tuttavia è in essa uno dei problemi più interessanti, più belli, offerti dalla natura: si deve al sommo Helmholtz l'averlo risolto.

Giunse egli a ciò — dopo avere fatto uso di bottiglie cilindriche di vetro, a fondo costituito da una sottile membrana ben tesa — mediante la invenzione dei *risuonatori*; « sfere cave e tubi cilindrici in cristallo, muniti di due aperture, una a taglio diritto, l'altra a forma d'imbuto e disposta così da potersi introdurre nell'orecchio ». Come il bronzo che costituisce una campana o l'aria che riempie una canna sonora, come il cristallo di cui risulta un vaso o l'acciaio formante un diapason, come, in una parola, qualunque massa elastica ha una durata propria di vibrazione la quale dipende dalla natura e stato della materia, dalla forma sua e dalle sue dimensioni; così — dipendentemente appunto dalle dimensioni — ha una durata propria di vibrazione

l'aria del risuonatore. Esso è cioè atto a dare un numero di vibrazioni per secondo — diciamo: una nota determinata — che è individuato dalle sue dimensioni.

E come — *per risonanza*, dicono i fisici — entrano in vibrazione la corda del pianoforte od il diapason quando non lungi da essi si produce la nota che li caratterizza ; così entra in vibrazione l'aria del risuonatore, quando si trovi in presenza di un corpo che dia — sola o commista ad altre, non importa — la nota individuata dalle sue dimensioni. È legge generale ed i risuonatori devono obbedire ad essa.

Ecco la base del metodo dell'Helmholtz. Volendo analizzare quali suoni elementari entravano a comporre quello dato da una corda da violino, da un flauto, da un istrumento qualsiasi, gli bastava produrre quel suono davanti ad una serie di risuonatori, costituita da quelli rispondenti alla nota da analizzare ed alle sue armoniche. Applicando l' orecchio ai vari risuonatori egli poteva stabilire in quali l'aria vibrasse, e conoscere così i suoni elementari onde risultava quella nota. Quella serie era all'orecchio ciò che all' occhio è il prisma quando gli scevera l'una dall'altra le luci elementari costituenti una luce composta.

Fig. 1.

Fig. 2.

Esp. del Koenig.

Riprod. delle fig. 23 e 24 dell'op. Q. *Ex. d'Ac.* — Anche di queste figure il primo dis. pubb. dal Koenig si trova nelle fig. 4 e 5 della Tav. II vol. CXLVI degli *Ann. di Poggendorff*, e si riferisce alla mem. cit. « *Die man. Flamm.* ».

Legg. espl. — Fig. 1: Composiz. delle vibr. di due canne sonore : 1.° tono magg. (*do, re*) ; 2.° terza maggiore (*do, mi*), 3.° quarta (*do, fa*) ; 4.° quinta (*do, sol*); 5.° la sesta maggiore (*do, la*) ; 6.° settima (*do, si*) : 7.° ottava.

Fig. 1 : Composiz. delle vibr. prod. nella medesima colonna di aria. 1.° ottava della quinta, 2.° suono fondam., 3.° dentelli risult. dalla prod. contemp. delle due note.

Con coteste serie di risuonatori il grande filosofo tedesco ebbe dimostrata la verità del teorema del Fourier. Ma al tempo stesso gli ebbe fornito una prova tra le più eccelse del quanto a ragione — e con quanta fecondità — si fosse andata cercando nelle regioni astratte della pura analisi matematica la soluzione di un mistero che avvolgeva uno tra i più belli dei fenomeni naturali, il suono; il mistero del timbro. Egli potè infatti — stabilire che esso dipende unicamente dal numero e dalla qualità delle armoniche che si accompagnano al suono fondamentale. « Il suono particolarmente

sibilante delle corde sottili ha la sua ragione nelle armoniche più acute, di cui è possibile, mediante i risuonatori, distinguerne fino a sedici ». La bellezza del timbro di certe note del violoncello è l'effetto dell'essere esse accompagnate da armoniche *consonanti*, formanti cioè — per quanto notevolmente più deboli — con esse dei veri accordi: l'abilità nel toccare le corde del violino sta nell'eccitarne le vibrazioni in modo che siano evitate le armoniche dissonanti; la bontà di una cassa di armonia sta nella attitudine a lasciare che si estinguano quest'ultime ed a rinforzare le altre.

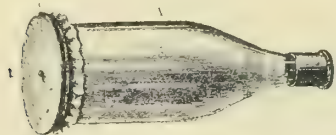



Fig. 1.

Fig. 2.

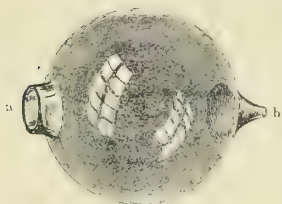



Fig. 3.

Risuonatori dell' Helmholtz.
1. Forma primitiva a bottiglia, 2 e 3 forme definitive. — Riprod. delle fig. 15, 16 *a*, 16 *b* dell'op. *Théorie Physiol. de la Mus.* ed. cit.

Nè qui si arrestava l'Helmholtz. Egli affrontò un altro problema, lo studio della voce umana.

Se quello sul timbro dei suoni aveva messo in luce come, fin che si tratti del canto, l'organo vocale nostro voglia essere considerato un qualunque istrumento ad ancia, restava pur sempre a spiegare in che consistono quelle modificazioni per le quali sotto l'azione della volontà la voce diventa linguaggio.

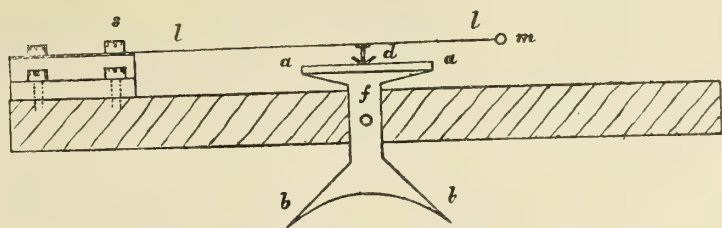
Esso consta in realtà di due elementi: consonanti e vocali. Ma, mentre le prime si riducono semplicemente ad esplosioni le quali precedono o seguono la vocale, le altre sono suoni musicali veri e costituiscono l'elemento che si potrebbe dire essenziale del linguaggio. Su le vocali appunto portò l'Helmholtz l'esame, arrivando a stabilire in primo luogo che la voce, se come suono nasce nella glottide, solo nella bocca diventa vocale, ed in secondo luogo che a formare una vocale data occorre e basta che al suono inarticolato — quale è dato dalla glottide — si aggiungano una o due note diverse da vocale a vocale, identiche sempre per ciascuna di esse — e perciò caratteristiche dell'una piuttosto che dell'altra — indipendenti affatto dall'altezza del tono e dalla persona che parla o che canta.

Coteste note — *vocabili* — sono dall' Helmholtz riassunte musicalmente così:

OU O A AI É I EU U

Per tale modo veniva analizzato nella parte che si potrebbe dire scheletrica lo stesso linguaggio, il più mirabile strumento che abbiano al loro servigio la intelligenza ed il cuore dell'uomo.

La questione di una teoria delle vocali non era nuova. Il Wheatstone —

lo si rileva anche dagli scritti dell' Helmholtz — ne aveva data, per il primo, una teoria nella *London and Westminster Review* del 1837. Un altro inglese, il Roerigh, in una monografia — su le lingue finniche e tatare studiate grammaticalmente — pubblicata a Itchin nel 1848, aveva formulato una teoria — da lui chiamata *armonizzazione del linguaggio* — secondo la quale le vocali dovevano dividersi in due classi, comprendenti l'una le *a*, *o*, *ou*, l'altra le *e*, *eu*, *u*.

Il *logografo* del Barlow come è dato nell'ultima mem. dell'inv.
Dalla monog. orig. « *On the Articulation of the human Voice* » in *Sc. Proceedings of the Royal Dublin Society*, Maggio 1879.
Legg. esplic. — *aabb* imboccatura da trombetta, chiusa in *aa* da una memb. tesa: *ll* braccio di alluminio; *m* pennellino inscrittore; *f* apertura da cui può sfuggire l'aria quando la bocca è app. in *bb*.

Il Grassmann fino dal 1854 — cinque anni prima che venissero in luce gli studî dell'Helmholz — aveva posto i principî di un'altra teoria — che però non venne pubblicata nel suo sviluppo completo se non nel 1877 — *Annali di Wiedemann* — secondo la quale l'*ou*, *u*, *i* formerebbero una serie a sè, l'*a* si staccherebbe notevolmente dalle precedenti, e le rimanenti sarebbero prodotte dalle sovrapposizioni dell'*a* ad una delle prime: così sarebbero: $o = a + ou$, $eu = a + u$, $e = a + i$.

La questione delle vocali, insomma, era viva, e preoccupava la scienza come l'aveva preoccupata nel secolo XVIII quando si erano avuti gli studî del von Kempelen e del Kratzenstein. All'Helmholtz la gloria di averne data la risoluzione per la sola via che poteva condurre alla certezza.

Al quale proposito non sarà fuori di luogo una osservazione. Dopo gli studî dell'Helmholtz molti se ne fecero: essi portarono a risultati discordi in qualche particolare. Il Donders e il Koenig danno — per *vocabili* — delle note non sempre identiche a quelle dell'Helmholtz. Al Lahr — *Ann. di Wied.*, 1887 — che sperimentò con diversi metodi — tra cui quello di ricercare quale diapason eccitasse la risonanza dell'apparato boccale disposto come lo è nel pronunciare una determinata vocale — parve accettabile la teoria del Grassmann; ed al Borseul — *Journ. de*

Fig. 1.

Fig. 2.

Studi del Barlow sul linguaggio articolato.
La fig. 1 è riprod. dalla mon. prec. cit.: la 2 dalla monog. anter. « *On the pneumatic action which accompanies the Articulation of Sounds by the Human Voice* » in *Proc. of the R. Soc. of London*, seduta del 16 aprile 1874.
Legg. espl. — Fig. 1: tracc. corr. alla conson. *b*: in *a* sill. *be*, in *b* sill. *eb*, in *c* sill. *beb*: in tutte il tracciato ondulato è dovuto alla vocale, il salto brusco all'espl. caratt. della cons.
Fig. 2. La parola *Incomprehensibility*: FW sussurrata dolcemente; WF sussurrata energicamente, S pron. al tono ord. di voce; SL a voce molto alta.

Phys.. T. 7, serie I. — che operava provocando la risonanza boccale col battere leggermente i denti con l'unghia — sembrò che i suoni vocali della lingua francese e le note caratteristiche potessero riassumersi così:

A	*A*	*O*	*Ô*	*OU*	*É*	*È*	*EU*	*EU*	*U*
(*Par*)	(*Pâle*)	(*Poste*)	(*Pau*)	(*Tout*)	(*Thé*)	(*Tête*)	(*Peur*)	(*Peu*)	(*Rue*)
mi	*do*	*sol*	*mi*	*do*	*fa*	*si*	*re*	*fa*	*si*

E, poichè nel primo gruppo stanno note i cui nomi sono quelli dei suoni formanti l'accordo perfetto maggiore, e nell'altro sono gli analoghi elementi per l'accordo in *re*, egli deduceva l'attendibilità della teoria del Roerigh. Ma coteste discrepanze non infirmano affatto i risultati dell'Helmholtz.

Anche senza porre in confronto l'abilità nello sperimentare e la sicurezza dei metodi, basterebbero a spiegare i disaccordi le differenze enormi che una stessa vocale presenta nelle diverse lingue, e — per una stessa lingua — nelle varie maniere di pronunciarla, secondo le parole, il paese, la regione: in un certo senso la serie delle vocali è infinita, come — nello stesso senso — infinito è il numero dei colori dello spettro solare. Onde, i risultati non si troveranno concordi fino a che il confronto non sia stato fatto su termini omogenei. Quello che rende altissimo il pregio dei lavori dell'Helmholtz è non solo la grande attendibilità dei singoli risultati da lui avuti, ma anche — e principalmente — l'esservi — come dicemmo — la strada che conduce alla certezza; e forse verrà il giorno in cui cotesto studio analitico porterà luce ed aiuto alle scienze glottologiche, mettendole su una base costituita da fenomeni fisici — oggettivi, non soggettivi — e perciò veramente solida, ed innalzandone, per tal modo, le leggi alla sfera delle verità indiscutibili di ordine universale.

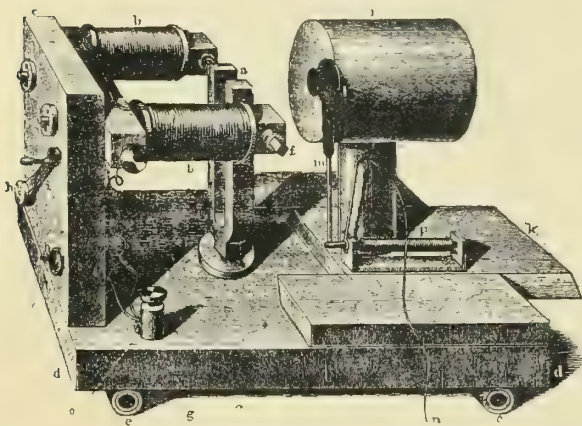



Fig. 1.

Fig.. 2

Disp. dell' Helmholtz per la sintesi dei suoni.
Riprod. delle fig. 32 e 56 della *Théor. Phys. de la Mus.* ediz cit.
Legg. espl. — Fig. 1. Uno dei risuonatori, con l' elettro-diapason e lo schermo.
Fig. 2. Dispos. gen. dell'appar. a otto risuon.; e_1 e_2 pila, *b* elettro-diapason per regolare le immissioni della corr. elett.; *c* condensatore elettrico, *d* filo ammortizzatore per regolazione; *i*, *h* interruttori a mercurio per la corr. elettr., funzionanti per il moto vibr. del diap. *b*.

Su l'altro elemento del linguaggio umano — le consonanti — ci ba-

stano poche parole. Se ne occupò singolarmente il Barlow in quel complesso di lavori che presentò in parte nel 1874 alla *Royal Society* di Londra, in parte nel 1878 alla *Société de Physique* di Parigi, ed infine nel 1879 alla *Royal Dublin Society*.

Valendosi di una specie di imboccatura da trombetta — allargata al fondo e chiusavi da una sottile membrana di caucciù, al cui centro si appoggiava un leggero braccio di alluminio recante un esile pennello sfiorante una striscia di carta mobile, simile a quella di un ricevitore telegrafico — egli mise in evidenza il fatto che la consonante non è se non una esplosione precedente la vocale o consecutiva ad essa, una esplosione con cui la vocale comincia o finisce.

Risuonatore *a suono variabile* del Koenig, con tubo per caps. man.

Ritornando ora ai lavori dell'Helmholtz, dobbiamo dire che egli — mente per eccellenza penetrata dallo spirito scientifico — non si era accontentato di fare l'analisi dei suoni: volle — delle teorie e dei risultati — la controprova; e la raggiunse piena mediante l'impiego di serie di diapason — accordati come al solito per una nota fondamentale e per le sue armoniche — di cui egli poteva mantenere elettricamente le vibrazioni, e vicino a ciascuno dei quali stava il risuonatore corrispondente. Realizzata l'analisi, egli era giunto così anche alla sintesi.

Appar. del Koenig a quattordici risuonatori per l'an. dei suoni. Le fiamme manom. relat. sono all'lin. vertical. e veng. osserv. med. un solo specchio prismat. girev. (a destra).
Riprod. della fig. 12 della mon. orig. « *Die manometrischen Flammen* » pag. 189 degli *Ann.* di *Poggendorff*, volume CXLVI.

Ed analisi e sintesi dei suoni furono dappoi — è facile comprenderlo — oggetto di studi copiosi, nei quali vennero usati procedimenti svariatissimi.

Il Koenig modificava tosto i risuonatori facendoli di due cilindri cavi che potessero entrare l'uno nell'altro, in modo che ne era resa variabile la lunghezza, e conseguentemente la nota — con che uno stesso risuonatore poteva servire a parecchie note. — Di più, congiungendo — mediante un tubetto di gomma — la piccola appendice terminale ad imbuto col fondo di una capsula manometrica, ne rendeva assai più comodo l'uso: la vista era sostituita all'udito nell'ufficio di esploratore. Col montarne parecchi su di un solo sostegno — disponendo poi allineate verticalmente le diverse fiammelle, e mettendo vicino ad esse uno specchio parallelepipedo girevole, abbastanza alto perchè tutte potessero vedersi contemporaneamente — egli dava uno strumento assai comodo per l'analisi dei timbri dei suoni. Inoltre, facendo comunicare — sempre a mezzo di un tubetto di gomma — il fondo

di una capsula manometrica con una piccola imboccatura davanti alla quale si possono produrre i vari suoni, forniva un mezzo non meno comodo e veramente semplice con cui rilevarne qualità di timbro e differenze, mediante le differenze nelle frastagliature e dentellature delle fiamme; mezzo che egli stesso, poi, applicava felicemente anche all'analisi del linguaggio. E mezzi pure ingegnosi ideava per lo studio del timbro mediante sintesi. Tracciando le curve ondulate corrispondenti ad un suono ed alle sue armoniche — disposte queste, sia in modo che presentassero varie differenze di fase, o non ne presentassero affatto, sia in modo che rispondessero a intensità relative differenti — deduceva per le curve risultanti dalla loro composizione: con delle strisce di lamiera terminate in alto ed in basso da codeste curve risultanti, ripiegate — le lamiere — a superficie di cilindro e montate tutte su un medesimo asse in modo da poterle far passare davanti ad una serie di fessure portavento, giungeva a costituire quella *sirena ad onde* cui già fu accennato (pag. 94), e che — insieme ad un altro apparecchio ancora più ingegnoso, in cui le ondulazioni rispondenti a ciascun suono elementare erano distinte — forniva al grande sperimentatore occasione e materiale per lo studio razionale della questione.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Studi del Koenig sul linguaggio articolato.

Legg. espl. — Fig. 1. App. per la produz. delle immag. delle vocali. Riprod. della fig. 6 — pag. 171, vol. CXLVI degli *Ann.* di *Poggendorff* — della cit. monog. « *Die manom. Flamm.* ».

Fig. 2. Immagini delle vocali cantate su diversi toni.

Fig. 3. Immag. della *r* muta.

Le fig. 2 e 3 sono riprod. delle 27 e 29 dell'op. del Koenig *Q. Exp. d'Ac.* I loro disegni, a sempl. contorni, furono pubbl. orig. dal Koenig, nella monog. più volte cit. « *Die manom. Flamm.* » e sono, una la Tav. III, nella quale mancano però le ultime quattro immag. dell'*I*, e l'altra la fig. 10 della Tav. II.

Alfredo M. Mayer, prof. al *Stevens Institute of Technology* di Hoboken, nello Stato di New-Yersey — *The. Am. Journ. of Sc. and Arts.*, 1874 — realizzava in una sola esperienza l'analisi e la sintesi. Forava il portavento di un tubo ad ancia libera, turava l'apertura con del marocchino, e collegava questo mediante fili di seta opportunatamente tesi al nodo superiore di diapason, corrispondenti alla nota fondamentale del tubo ed alle sue prime sette armoniche. Facendo cantare il tubo, riconosceva quali entrassero in oscillazione, e conseguentemente quali fossero le note elementari: facendolo tacere, ne poteva udire il suono continuato dai diapason che esso aveva messo in vibrazione.

Il Rosapelly, al laboratorio del Marey, registrava i moti stessi della laringe insieme a quelli delle labbra e del velo palatino per determinare i caratteri grafici delle consonanti o del loro gruppo; ed il Fuchs analizzava le vocali introducendo nell'orecchio una delle estremità di un tubetto di caucciù — di cui l'altra era nella bocca — mentre questa si trovava composta come per pronunciare una vocale e si andavano toccando successivamente le corde di un pianoforte: la bocca, facendo da risuonatore, lo avvertiva della produzione della nota caratteristica ch' egli andava cercando.

App, del Koenig per le ric. sul timbro dei suoni med. la sint.

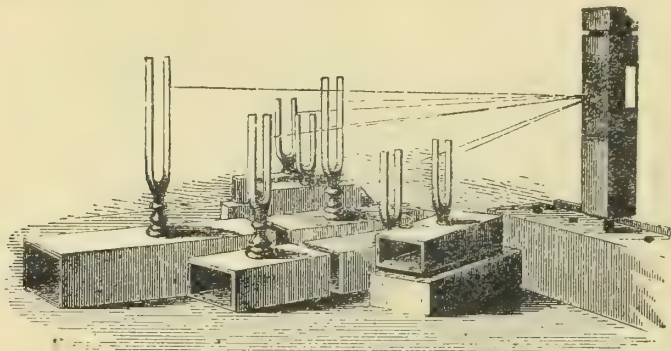
Riprod. della fig. 66, pag. 236 dell' op. del Koenig *Q. Exp.* d'*Ac.*

Legg. espl. — In basso a sin. piccolo somiere da cui si elev. molte *canne portavento* che finis. in apert. a fessura contro la gr. ruota conica della parte alta a destra, girev. med. cigna. La ruota è form. ua una serie di anelli in lamiera — fiss. su un cono di ghisa a gradini — anelli, il cui contorno é ad ondulaz. di forma geom. tale che al pass. contro una fess. si generino un suono fond. e le sue armoniche. Le *fess. portav.* si poss. inclin. o spost. in modo da permett. qualunque diff. di fase e di intens. Nel primo app. costr. nel 1867 e 68 le armon. prod. erano in numero di sedici.

Nel 1882 il Boltzmann presentava all'Accademia di Vienna dei tracciati fotografici ottenuti — metodo che offre qualche analogia con quello che qualche anno prima aveva usato l'americano E. W. Blake — mediante un raggio solare riflesso da uno specchietto di platino fisso ad una membrana di ferro, mentre questa vibrava per l'azione di vocali pronunciate davanti ad una capsula ad aria; ed abbastanza recentemente — *Journal de Phys.*, 1898 — il Marage, valendosi delle fiamme manometriche — prodotte con l'acetilene — modificandone la disposizione in modo da eliminare qualche difetto della disposizione del Koenig, e fotografandole su un cilindro cronografico del Marey, stabiliva molto nettamente la differenza tra la *vocale parlata* — nella quale sfugge la nota e prevale la vocabile — e la *vocale cantata* — in cui la vocabile si smorza e prevale la nota.

Alla stessa epoca Edward L. Nichols, professore alla Università Cornell di Ithaca nello Stato di Nuova York, unitamente ad E. Merritt pubblicava nel *The Physical Review* — agosto 1898 — delle splendide fotografie di intere parole; fotografie ottenute mediante fiamme manometriche di acetilene e idrogeno brucianti in un'atmosfera di ossigeno, e pellicole sensibili di oltre un metro di lunghezza spostantisi con grandissima velocità. È meravigliosa in

quelle fofografie la differenza tra i tracciati delle vocali e quelli delle consonanti: nulla avrebbe potuto mettere in luce più nitida la verità della distinzione fondamentale fatta dalla fisica tra le une e le altre.

Prima di cotesti lavori — prima ancora di quelli dell' Helmholtz — e durante essi v' era poi sempre stato chi aveva pensato o pensava alla riproduzione della parola.

Dispos. del prof. A. M. Mayer per l'analisi e la sintesi del suono di una canna da organo.
Riprod. della fig. a pag. 184 del *Journ. de Phys.*, serie I, T. IV.

Il Willis — v'è nel tomo XXIV, a. 1832, degli *Ann. di Poggendorff* la sua lunga monografia, riprodottavi dalle *Transact. of the Cambridge Philos. Soc.* Vol. III — adattando delle imboccature ad ancia a tubi atti a dare quelle che ora diciamo le note vocabili, era riuscito a riprodurre le vocali: è, in fondo, l'artificio con cui si ottiene la voce delle bambole parlanti. E — verso il 1859 — Faber di Vienna costruiva senz'altro una completa *macchina parlante.* Un mantice ed una laringe ad ancia di avorio vi costituivano l'apparato produttore del suono. Facendovi passare l'aria per cavità di varie forme ottenute mediante diaframmi forati, che, col mezzo di una tastiera, venivano a porsi successivamente sul suo cammino, la macchina produceva le vocali — a cui si poteva anche dare il suono nasale mediante una speciale cavità a forma appunto di naso. — Una lingua e delle labbra in gomma elastica davano le consonanti, ad eccezione della *r*, per la quale serviva un molinello girante nella gola dell'istrumento. Il Gariel che ne dà conto nel tomo 7 della 1.ª serie del *Journal de Physique* dice che, in generale,

Studi di Nichols e Merritt sul linguaggio articolato con le fiamme man. e la registrazione fotografica.
Riprod. di alcune delle fig. — Tav. I. e III. — della monogr. orig. « *The Photography of Manometric Flammes* » in *The Physical Review.*
Legg. espl. — 1.° tracc. della par. *doctor:* 2.° *Koenig:* 3.° *river:* 4.° *invent.* I primi due tracciati sono ridotti a metà, gli altri ad un terzo: in tutti, le parti a dentellature corrispondono alle vocali, il resto alle consonanti.

le frasi si comprendevano, quantunque la parola fosse monotona e non sempre perfetta.

Perfetta invece — possiamo dire — si ottenne la riproduzione di essa mediante il *fonografo* ed il *telefono*.

Limitandoci per ora al primo — dell'altro si parlerà nella parte relativa all'elettricità — ne ricorderemo, ad abbondanza, il principio geniale: fare che le onde sonore — mediante il moto vibratorio da esse impresso ad una membrana — obblighino una punta solidale con la membrana stessa a tracciare in una materia opportuna una serie di infossature permanenti: siccome la forma di queste dipenderà dal suono, quando — col far ripassare, nel medesimo ordine e con la stessa velocità che regolarono la loro produzione,

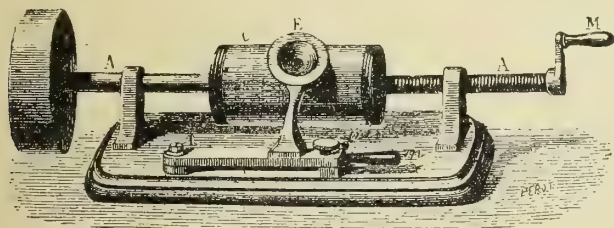



Fig. 1.

Fig. 3.

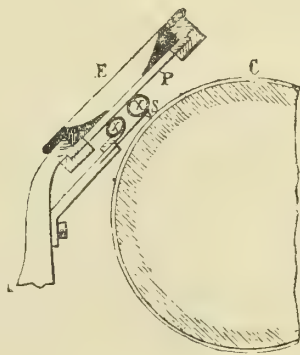



Fig. 2.

Il fonografo di Edison, modello primitivo.

Legg. espl. — Fig. 1. Veduta d'assieme. Fig. 2. Particolari del meccanismo inscrittore. Fig. 3. *A* sporgenze ed infossature amplificate della stagnola: *B* le stesse in sezione.

quella serie di infossature davanti alla punta — si obblighi questa a ripetere il cammino prima percorso, anche la membrana sarà forzata a ripetere le vibrazioni di prima; si rigenererà così nell'aria, con le onde che prima l'avevano scossa, il suono che prima si era prodotto.

Questa l'idea sommamente felice dell'Edison, ch'egli realizzò — nel 1878 — disponendo una cortissima punta rigida in modo che una molla la premesse — con l'interposizione di un pezzo di caucciù — contro una sottilissima membrana — tesa al fondo di una piccola imboccatura — e facendo che davanti ad essa — e con essa a contatto — si potesse far passare un foglio di stagnola. Questo era teso su di un cilindro — girevole e trasferibile mediante una manovella a vite — sulla superficie del quale era praticata una scanalatura elicoidale di passo uguale a quello della vite di traslazione. Per tal modo — messo lo stilo a contatto con un punto della stagnola corrispondente alla linea mediana della scanalatura, cioè là dove la stagnola presentava minore resistenza alla punta — se, mentre il cilindro girava, si produceva un suono davanti alla imboccatura, venivano a determinarsi le infossature di cui si è parlato. Riportando poi il cilindro alla posizione iniziale — mantenendone nel frattempo, soltanto in questo, staccata la punta — quando si ripeteva il moto del cilindro, si obbligavano la punta stessa a ripetere nel

medesimo ordine — a motivo delle rugosità della stagnola — i moti vibratori della fase di inscrizione, e la membrana a riprodurre il suono.

La invenzione destò la meraviglia universale ed il fonografo percorse trionfalmente il mondo, oggetto di curiosità e di ammirazione per gli scienziati e per il pubblico. « Come è fedele! » esclamava Gounod dopo averlo udito ripetere la sua celebre *Ave Maria* che egli stesso aveva cantato: e il maestro si felicitava seco stesso.... perchè non aveva commesso errore nell'eseguirla.

Tuttavia i suoni avevano, quanto al timbro, un po' dell'aspro, si direbbe del cartaceo: vi si sentiva un tal quale crepitio della membrana.

Edison pensò pertanto a perfezionamenti: quando — nel 1888 — lo ripresentò, il timbro era notevolmente migliorato, e la ripetizione — ciò che non avveniva con la stagnola, la quale si trovava ben presto deformata in modo da riuscire inetta allo scopo — era possibile un numero enorme, quasi infinito di volte. Alla stagnola era stato sostituito un manicotto di cera — opportunamente preparata, durissima, simile a quella che era stata usata poco dapprima dal Lambrigot nei suoi apparecchi per registrare appunto dei suoni — manicotto che si infilava su un rullo girevole e trasferibile a vite, al modo stesso che nel fonografo a stagnola; e la membrana per la ripetizione era diversa da quella per la inscrizione. Valendosi — per il moto del rullo — di un motorino elettrico, ed ascoltando con un tubo di caucciù, che, partendo dalla imboccatura al cui fondo è la membrana, si biforchi così che si possa introdurne un ramo in ciascun orecchio, si ottengono delle ripetizioni veramente perfette.

Il fonografo di Edison. — Modello perfezionato.

Nessuna meraviglia che Gourand nella comunicazione del 20 aprile 1889 all'Accademia delle Scienze di Parigi dicesse: « Mesi sono udii nella mia casa in Inghilterra per mezzo del fonografo la voce di Edison con tutte le sue inflessioni »; nessuna meraviglia che l'ammirazione e l'interesse per la invenzione di Edison si ridestassero. Quando all'Accademia di Francia venne presentato il fonografo perfezionato — ciò avvenne nella tornata testè ricordata — quell'illustre consesso, così parco in fatto di attestazioni di lode, inviava ad Edison, registrate su un cilindro, le felicitazioni e l'espressione della speranza di vederlo a Parigi. E festose accoglienze aveva fatto all' apparecchio sommamente geniale, anche prima che avesse raggiunto la maggiore perfezione, un altro corpo tra i più autorevoli, la « Associazione Britannica per il Progresso delle Scienze », nel Congresso di Bath.

Parlando di esso, uno tra i più eminenti fisici francesi — il Janssen — aveva detto: « diverrà il punto di partenza d'importanti studi teorici di acustica »; ed in parte era stato profeta, perchè, fino dalla sua prima apparizione, il Mayer agli Stati Uniti, il Niaudet in Francia, l'Hajech da noi se ne erano occupati,

e Jenkin e Ewing — *The Nature* del marzo 1878 — ne avevano approfittato per lo studio della teoria dell'Helmholtz su le vocali, trovando che la vocale inscritta

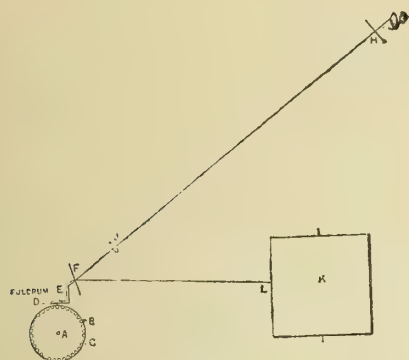



Fig. 1.

Studi di L. Bevier *jr*. sul linguaggio umano, col fonografo di Edison e con la registr. fotografica.

Dalla monog. orig. « *The Acoustic Analysis of the Vowels from the Phonographie Record* » in *The Physical Review*.

Legg. espl. — Fig. 1. Schema dell' apparecchio: *C* cil del fonog.; *DE* leva oscill. per le asperità del cilindro inciso; *F* specchio; *I* lente che concentra i raggi della sorgente lum.; *L* cam. fot.

Fig. 2. Tracciati (impiccoliti) corrisp. alla voc. *a*; 1, 2, 3 voci di basso e baritono, 4 voce di fanciullo soprano.

Fig. 3. Alcuni dei precedenti, in grandezza uguale a metà di quelle dei tracciati effettivi.

N. B. Per l'apprezz. della colonna cont. i num. di vibraz. si ricorda come i limiti assegn. ai diversi registri della voce um. sono: *basso e baritono*, dal mi_1 di 80 vibr. dop. al fa_3 di 341; *tenore*, dal do_2 di 128 al do_4 di 512; *contralto* dal fa_2 di 171 al fa_4 di 683; *soprano* dal do_3 di 256 al do_5 di 1024.

Voci	Altezza (Num. delle vib. doppie).
2	113
2	144
2	144
2	152
3	171
2	171
1	181
2	202
2	226
1	226
2	226
4	240
2	256
2	256
1	272
1	272
4	272
2	288
4	288
1	304
1	304
4	320
4	362
4	384
4	426
4	540

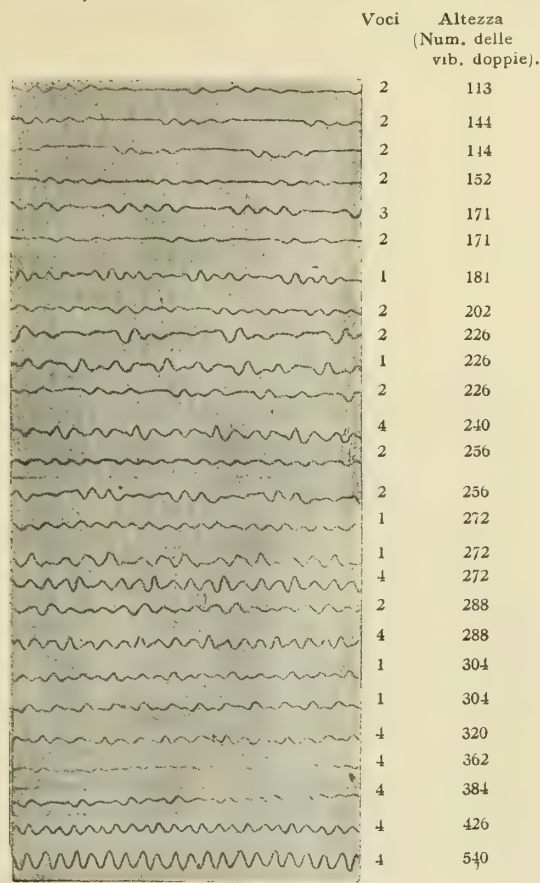



Fig. 2.

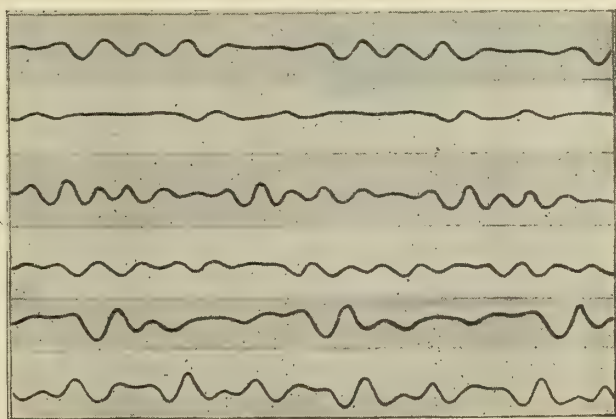



Fig. 3.

non muta quando si varii la rapidità del moto nella ripetizione, sebbene varii l'altezza, e che, però, muta la forma delle onde indicate dalle infossature quando si canta una gamma su una stessa vocale. In seguito, forse anche perchè una gran parte dell' attività dei fisici fu assorbita dai problemi nuovi dell' elettricità e dell'elettro-ottica — posti principalmente dalle scoperte dell' Hertz e del Röntgen, e dall' invenzione del Marconi — il fonografo, come mezzo di ricerca fu, si può dire, messo da parte.

Tuttavia fisici e fisiologi che se ne valessero non mancarono, come fecero il prof. Hermann al Congresso di fisiologia di Liegi del 1893, e più recentemente l'americano L. Bevier jr. nello studio su le vocali pubblicato nel

The Phys. Rev. dell'aprile 1900, e basato su la registrazione fotografica delle impercettibili incisioni del cilindro di cera, amplificate mediante un raggio di luce riflesso da uno specchietto fissato al braccio maggiore di una piccola leva; leva, della quale l'altro braccio recava una punta poggiante sul cilindro mentre questo veniva fatto rotare. Poichè abbiamo accennato a cotesto lavoro diremo anche che le curve ottenute dal Bevier sono veramente interessanti, tanto più perchè, rispondendo ad uno studio rigorosamente metodico, possono servire a confronti tra voci di registro diversissimo, ed a confronti, per una medesima voce, di vocali rispondenti ad altezze comprese tra limiti estesi.

Il fonografo è rimasto nell'uso specialmente come uno degli apparecchi di divertimento e di curiosità più in voga, e non v'è grande Esposizione o fiera da villaggio alla quale esso non si trovi rappresentato da un certo numero — più o meno grande secondo i casi — di esemplari, posti a disposizione del pubblico perchè possa udirvi la ripetizione di pezzi musicali — eseguiti, se si tratta del canto, dai più celebri artisti — o la voce degli uomini che hanno maggiore notorietà. Ricorderemo, a questo proposito, per la eccentricità dell'idea — veramente caratteristica del popolo americano — la ripetizione, all'inaugurazione della grande *World's Fair* di Chicago nel 1893, del saluto che per la circostanza si era fatto fonografare a Leone XIII.

Gli organi dell'udito nella zanzara, secondo gli studi di A. M. Mayer.

La sostituzione di un disco piatto al cilindro di cera, e di un moto spirale a quello elicoidale hanno dato il *grammofono;* e modificazioni meno radicali, il *grafofono*; fratelli minori del fonografo, al quale, per il prezzo poco elevato, esercitano una concorrenza tutt'altro che sfortunata quanto alla diffusione; sfortunata invece quanto alla fama, giacchè le loro imperfezioni fanno risultare tanto meglio il valore del fonografo, specialmente quando, muniti di grandi imbuti parabolici, devono far udire in vasti ambienti la loro voce non raramente stridula nei registri acuti, e anche, ad intervalli, non sempre intonata. Che se cotesti apparecchi e l'uso che se ne fa non rispondono sempre alla dignità della scienza; se il fonografo non ha avuto nel campo pratico quelle applicazioni che se ne erano preconizzate, e il telefono dà la riproduzione dei suoni con una disposizione meccanicamente preferibile; tutto ciò non impedisce che il fonografo abbia a restare nella storia della fisica come una grande invenzione, per la felicità dell'idea a cui s'informa, per la nobiltà del problema che esso risolve, e per la semplicità del modo con cui la soluzione è ottenuta.

Svelato il mistero del linguaggio umano, un altro ne rimaneva connesso col primo, quello della udizione; mistero riguardante — per quanto è dell'uomo — uno tra i fatti fisiologici più importanti per l'intelligenza. Non è dire cosa peregrina l'osservare che per l'uomo, considerato appunto quale

essere intelligente, nulla nell'ordine dei fatti fisiologici spettanti alle relazioni col mondo esterno, può paragonarsi, per importanza, alla visione, all'articolazione della parola ed alla udizione. Ora, di codesti tre fatti, l'ultimo — esaminato nelle sue conseguenze — è di momento ancora maggiore degli altri: il cieco nato concepisce ciò che si attiene alle idee astratte; non lo concepisce invece il sordo dalla nascita, che per ciò stesso è anche muto.

A tanta nobiltà di ufficio dell'organo dell'udito risponde una costruzione per le cui meraviglie — messe in luce dagli studî anatomici del secolo XIX — forse nessuno altro, tra quelli dei sensi, lo supera; nemmeno l'occhio, pur sì complesso rispetto a quel che sono gli organi del tatto, del gusto, dell'olfatto.

Tra quelle meraviglie non ricorderemo qui se non le serie delle placchette nelle quali terminano le tremila fibre scoperte verso la metà del secolo dal marchese di Corti — ne portano, perciò, il nome — ultime ramificazioni del nervo acustico tappezzanti la parete interna della *chiocciola*, e le seimila fibre parallele della *membrana basilare*, una tastiera ed un sistema di corde, di cui nessun istrumento musicale può offrire l'esempio, e che non occupano se non lo spazio di pochi millimetri!

All' Helmholtz — il quale aveva potuto stabilire dover esser « nell'orecchio differenti parti messe in vibrazioni dai suoni di differenti altezze e che dànno la sensazione di questi suoni » — parve che si potesse assegnare alle *fibre di Corti* la facoltà di vibrare, sotto l'azione di un numero di oscillazioni speciale per ciascuna; e che quindi in coteste risonanze dovesse cercarsi la ragione della udizione dei diversi suoni.

L'*audifono* del Colladon.
Dalla monog. orig. del Colladon, in *Comptes Rendus de l' Acad. des Sciences,* T. XC, pag. 123.

« L'organo di Corti — scriveva egli — è un apparecchio destinato a ricevere le vibrazioni della membrana basilare e ad entrare esso stesso in vibrazione. » E più oltre: « Secondo Kölliker vi sono circa 3000 fibre di Corti nella chiocciola dell'orecchio umano. Valutiamo a 200 i suoni situati all'infuori dei limiti musicali, e dei quali l'altezza non è determinata che imperfettamente; restano 2800 fibre per le sette ottave degli strumenti musicali, vale a dire 400 per ogni ottava ».

Vi è dunque una continuità di elementi — in cotesta serie di risuonatori — ben sufficiente a spiegare la maggior finezza nell' apprezzamento del valore musicale dei suoni.

Però, appunto per cotesta grande continuità, una nota elementare metterebbe in vibrazione, non la sola fibra di Corti esattamente accordata con essa, ma un certo numero delle laterali, rispondenti a suoni, siano più alti, siano più gravi. Suoni che scuotono gruppi tra loro lontani potrebbero così essere dall'udito, percepiti l'uno distintamente dall'altro. Ciò non avverrebbe nel caso

opposto; e le fibre — scosse allora contemporaneamente dalle onde corrispondenti all'uno ed all'altro — riceverebbero periodicamente la somma e la differenza delle due velocità vibratorie: sarebbe in ciò la causa dei battimenti.

Nella sua teoria l'Helmholtz prese in esame, non solo cotesti casi che potremmo dire estremi, ma tutti i fenomeni dell'udizione; e nello stiramento prodotto dalle fibre del Corti per l'azione di suoni vicini avrebbe trovato la spiegazione delle loro dissonanze, come, nella impossibilità di cotesto stiramento per due suoni all'unisono od all'ottava, ed in una possibilità limitata in modo sempre più accentuato sarebbe la spiegazione della consonanza perfetta dell'unisono e dell'ottava, della impressione successivamente meno gradita degli intervalli di quinta, di terza, di quarta, di seconda. Cotesto studio, tra i più profondi, tra i più perspicaci che siano stati fatti nel campo della fisica e della fisiologia insieme, accompagnato dall'esame delle leggi dell'armonia e seguito da principî che mostrano il fondamento veramente scientifico delle leggi che l'uomo ha saputo intuire unicamente per il sentimento del bello, cotesto studio — diciamo — meriterebbe una esposizione ben più ampia di quella consentitaci.

Ancoraggio delle navi della spedizione del Capitano W E. Parry nell' America Artica durante l' inverno 1822-23. Località in cui furono fatte le esperienze del Parry — con i luogotenenti Nyas e Fischer — per determinare la velocità di propagazione del suono; prime esperienze eseguite nelle regioni polari.
Riprod. dall'ediz. orig. dell'opera del Parry « *Journal of a second voyage for the discovery of the North-West passage from the Atlantic to the Pacific* ». — London, John Murray, 1824.

Ciò che si disse mostri almeno quale passo abbiano fatto, mercè l'opera dell'Helmholtz, la investigazione dei fenomeni della udizione.

Vero è che al Mayer — *The Am. Journ. of. Sc. and Arts, Vol.* VIII, 1874 — parve che l'apprezzamento dell'altezza del suono dovesse attribuirsi a fibre di Corti diverse da quelle a cui lo attribuiva il fisico tedesco; che — giusta quanto dice il Radau nel suo *L'Acoustique* (Parigi, Hachette, 1880) — l'analisi del suono secondo Hensen e Hasse sarebbe fatto da fibre della basilare, e quelle del Corti servirebbero unicamente alla trasmissione al nervo acustico delle vibrazioni appunto delle fibre basilari; che all'Hurst dai suoi recenti studi — *Transact. of the Liverpool biological Society*, t. 9, 1895 — parve di poter concludere che le modificazioni dell'organo di Corti alle quali è dovuto il suono consisterebbero in una compressione provocata dall'incontrarsi dell'urto prodotto da una vibrazione trasmesso dalla membrana basilare con quello trasmesso dalla vibrazione antecedente attraverso ad un'altra membrana — quella di Reissner.

Port Bowen-America Artica, *Canale del Principe Reggente*, 73° 14' lat. Nord., 82° 55' long. W. da Greenwich — ove Parry e Foster fecero, durante lo sverno 1824-25, la celebre determinazione della velocità di propagazione del suono.
Riprod. dall' ediz. orig. dell' op. del Parry « *Journal of a third voyage for a discovery*, ecc. ». London, John Murray, 1826.

— Tuttociò però non può infirmare nei fondamenti la teoria dell'Helmholtz. Dai suoi elementi potrà differire qualche particolare di secondaria importanza; ma la sostanza sta, monumento insigne di altissima filosofia. Nè può essere rovesciata da quella stessa dell'Hurst; teoria insufficiente a spiegare molti punti che quella dell' Helmholtz invece chiarisce — come tutto chiarisce il fenomeno della udizione — mirabilmente; teoria — per di più — poggiante su una base, della quale un esame minuzioso potrebbe anche dimostrare come non sia necessariamente in opposizione con i fenomeni invocati a fondamento dall'Helmholtz, e come la compressione delle fibre di Corti operata dall'incontrarsi delle due onde sia da considerarsi unicamente quale fatto concomitante a quello della risonanza, ovvero — al più — quale uno dei mezzi per cui questa si determina.

Alla teoria dell'Helmholtz — per tacere dei bei lavori del viennese Mach — 1885 — portarono prove di un grande valore — sebbene indirette — gli studi dell'Hensen — citati anche nell'opera dell'Helmholtz — e del Mayer sul fenomeno dell'udizione, rispettivamente, nei decapodi e nelle zanzare. Nei primi — oltre a molti fatti di perfetta analogia a quanto avviene nell' organo dell'udito umano — è notevole la esistenza di una serie di setole ordinate in maniera regolarissima per grossezza e per larghezza : sono gli organi che entrano in vibrazione per i suoni, ed Hensen ha potuto col microscopio, non solo riconoscere cotesto risonare di un gruppo piuttosto che di un altro per suoni diversi, ma stabilire anche — con approssimazione largamente bastevole in siffatto genere di ricerche — la classificazione dei vari gruppi corrispondenti alla serie delle armoniche di un medesimo suono.

Il Mayer poi ha potuto constatare in modo assolutamente indiscutibile la risonanza nelle fibrille acustiche delle zanzare; risonanza nel senso vero di vibrazioni eccitantisi unicamente per un suono determinato, o per suoni molto vicini ad esso, e tanto perspicua da permettergli di riconoscere la direzione di un diapason vibrante col girare il portaoggetti del microscopio sul quale si trovava la zanzara fino a che le fibrille non si mostrassero eccitate.

Altre questioni interessanti il fenomeno dell'udizione e studiate nel secolo testè compiuto sono quelle dell'ufficio del doppio orecchio e del minimo numero assoluto di impulsioni necessario a produrre la sensazione uditiva.

Su la prima si è concordi nel ritenere che esso consista nell'individuare la posizione del corpo sonoro, il che secondo il prof. Pinto — Atti del-

l'Acc. Pontaniana di Napoli, 1881 — avverrebbe perchè il suono deve in generale giungere prima piuttosto all'uno orecchio che all'altro secondo la posizione del corpo da cui proviene; e l'essere perciò la intensità più grande per l'uno che per l'altro dispenserebbe dal muovere la testa per determinare la direzione nella quale il suono è più forte. Certo è poi che nel *pseudofono* del prof. Sylvanus Thompson di Londra — descritto nel *Philosoph. Magaz.* del novembre 1879 — si giudicano come partenti da punti diversi i suoni col solo orientare diversamente dei riflettori metallici che si collocano a ciascun orecchio e che, insieme ad un cornetto mantenuto in ognuno dei condotti uditivi, costituiscono cotesto — come l'inventore lo chiama — « stereoscopio dell'orecchio ».

Su l'altra l'Auerbach ha trovato — valendosi di diapason mantenuti in azione elettricamente — che venti vibrazioni almeno sono necessarie alla produzione di un suono caratteristico, mentre il Kohlrausch ridurrebbe cotesto numero a sedici, e abbastanza recentemente — nel 1894 — Herron e Yeo avrebbero riconosciuto che anche due sole vibrazioni isolate, potrebbero determinare un suono musicalmente apprezzabile in modo abbastanza preciso, purchè si succedano ad un intervallo non minore di $^1/_{50}$ di secondo.

Disaccordi, cotesti, che si spiegano assai facilmente, ove si tenga presente che il suono è fenomeno soggettivo, e perciò l'apprezzamento deve variare secondo le attitudini fisiche degli sperimentatori.

Intorno a cotesto punto nulla, crediamo, potrebbe essere ricordato di più caratteristico della vivace e recente controversia suscitatasi dall' apprezzamento dei suoni acutissimi, questione che interessa non soltanto il fisico, ma anche il clinico per le malattie dell'udito.

Stumpf e Meyer dopo una lunga educazione dell'udito, sperimentando su diapason e su fischietti di tipi differenti, erano arrivati alla conclusione che i fischietti dell'Appun davano una nota corrispondente ad un numero di vibrazioni assai minore di quello asserito dal costruttore — 20.000 anzichè 50.000. — Il dibattito conseguitone tra i due sperimentatori e l'Appun provocò dei bellissimi studi di Melde e di Schultze, la conclusione dei quali si fu che, se i risultati di esperienze accurate e indiscutibili davano ragione a Stumpf e Meyer, erano però assolutamente da escludersi in coteste ricerche i metodi che potremmo dire soggettivi.

Chiuderemo questo capitolo ricordando l'*acuometro* di Itard e l'*audifono*. Il primo serve a classificare la finezza dell' udito — Freycenet se ne valeva per istudiarlo nei selvaggi — misurando la distanza alla quale cessa d'essere percepito il rumore causato dalla sfera di un pendolino, che, abbandonato a sè in una posizione costante, va a colpire un anello di rame. Il secondo, inventato da R. G. Rhodes di Chicago nel 1879, venne tosto semplificato dal Colladon, il quale lo ridusse ad una lamina — rettangolare per tre lati e terminante a semicerchio nel quarto — di sottile cartone indurito: questa, premuta per il mezzo del lato arcuato contro gli incisivi della mascella superiore, e scendendo inflessa — per pressione opportuna della mano che la regge — ad arco sporgente davanti al petto, può raccogliere le ondulazioni su di una superficie assai estesa, e trasmetterle — per i denti e le parti ossee

della testa — a quelle interne dell'organo dell'udito, sostituendo con grande vantaggio il cornetto acustico, e permettendo — come mostrarono esperimenti convincentissimi — di facilitare la istruzione ed educazione dei sordomuti.

IV.

La velocità di propagazione del suono — Le interferenze — La rifrazione.

Volano per l'aria con uguale rapidità il tuono, il rumore della cascata, il fischio della locomotiva, la voce — sia gioconda, sia triste — della campana,

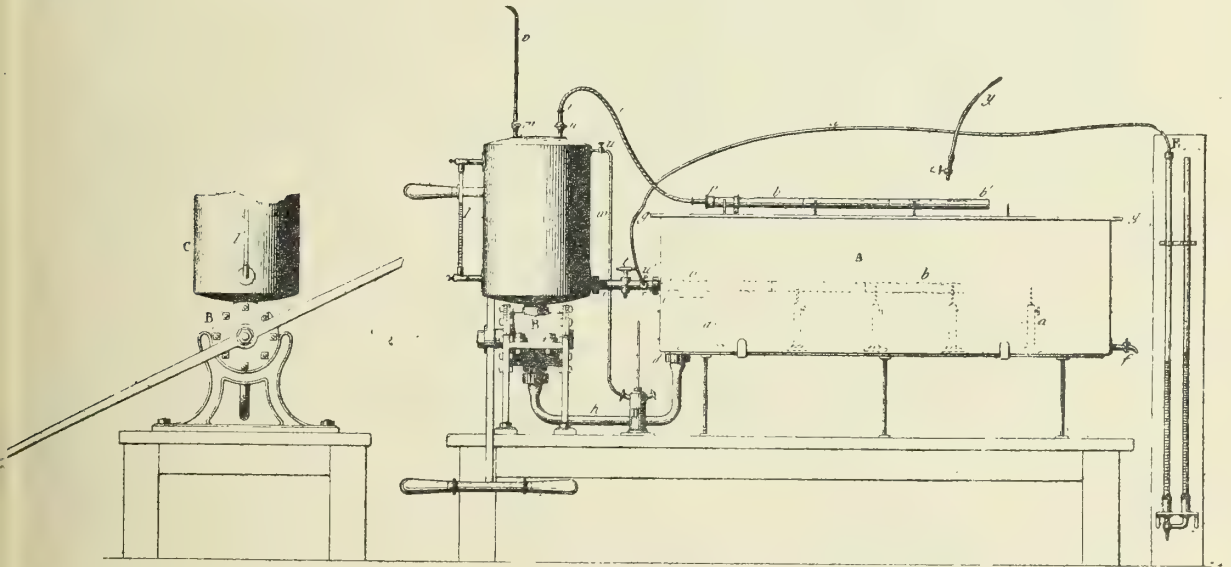



Fig. 1.

Gli apparecchi del Wertheim per determ. la vel. di propag. del suono nei liquidi.

Riprod. delle fig. 10 e 11 della Tav. 1, della mem. orig. " *Sur la vitesse du son dans les liquides* „ *Ann. de Ch. et de Phys.* serie III. T. 23.

Legg. espl. — Fig. 1. Apparecchio grande: *A* vasca in lam. galvaniz. di m. 1,35 × 0,40×0. 0; *a* sopporti della canna son. *bb*; *B* pompa aspirante il liq. med. il cond. *h* e che lo compr. nel serb. *C*, dal quale med. robinetto di regolaz. viene iniettato nella canna sonora: *E* manometro; *b'b'* canna son per esp. nell'aria.

Fig. 2. App. ridotto, per liq. di cui non si hanno quantità grandi.

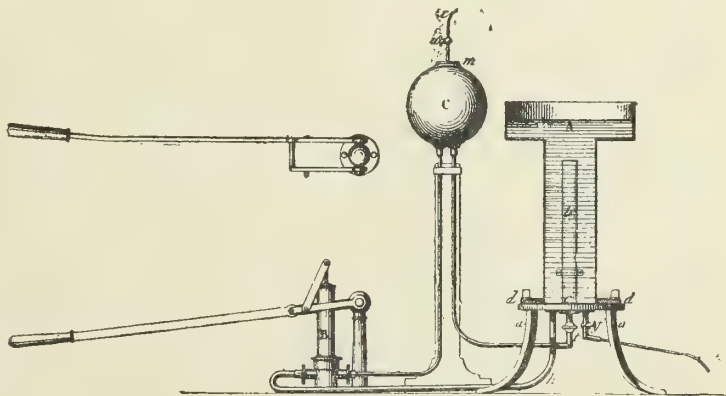



Fig. 2.

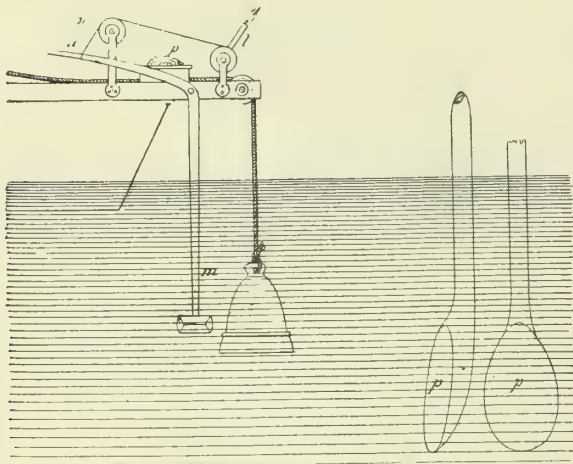
la nota simpatica che dà al villaggio il martello del fabbro, il trillo con cui su per le usate balze natie la montanina rallegra il lavoro,

> Le querele dolcissime, che versa
> Il tasteggiato con maestre dita
> Flauto sonoro (1).

Dalla grandezza di cotesta velocità comune ai suoni può oggi il fisico trarre la misura di quel rapporto tra il calore consumato ed il lavoro pro-

(1) Lucrezio, lib. V, Vers. del Rapisardi.

dotto, che — come già si disse — è tra le pietre angolari della scienza e dell'industria.

L'avere avviato la fisica a stabilire una relazione tra elementi in apparenza tanto disparati è gloria del Laplace; egli la conquistava quando indicava la correzione da apportarsi alla formola del Newton per calcolare la velocità di propagazione del suono.

Apparecchi del Colladon per mis. la vel. del suono nell' acqua. Esp. eseg. sul Lago di Ginevra.

Riprod. dalla monog. orig. in *Ann. de Ch. et de Phys.* Tomo 36. anno 1827, fig. 8 e 9.

Legg. espl. — Parte a sin.: *mm* leva angolare per percuotere la camp. sott' acq. e accend. contemp. la polv. pirica *p* med. la piccola fiaccola *l*. Parte a destra: tubo collettore — ved. di fianco e ved. di fronte — delle onde sonore, destinato all'osserv. posto all'altra staz. Tra la camp e cotesto tubo si deve dunque immag. la dist. perc dal suono.

Quella formula — sebbene il modo con cui il Newton era arrivato a stabilirla meritasse che il Laplace stesso la qualificasse come « uno dei tratti più notevoli del genio di lui » — doveva necessariamente essere erronea per lo stato delle cognizioni a quell' epoca. Invece — nelle scoperte del principio del secolo XIX su l'aria — il Laplace aveva potuto leggere che la ragione dell'eccesso delle velocità riscontrate dagli sperimentatori su quelle calcolate con la formula newtoniana stava nel calore che nell' aria si sviluppa per la compressione (1).

La propagazione del suono si collegava per tale modo coi fenomeni del calore nei gas, vale a dire con un ordine di fatti dei quali già si andava intravvedendo la importanza; importanza, che divenne poi somma quando essi fornirono solida base alla teoria dinamica del calore ed alle sue applicazioni. Il 1816, in cui il Laplace fece conoscere la sua formola per la velocità di propagazione del suono nei gas, va dunque riguardato come una tra le date più importanti per la fisica moderna, poichè quella formola — ripetiamolo a maggiore chiarezza — ci permette oggi di far servire — il come sarà indicato nella parte relativa agli studi sul

(1) Il ragionamento del Laplace è troppo importante perchè possa essere ommesso. « Lorsqu'on élève la température de l'air, sa pression restant la même, une partie seulement du calorique qu' il reçoit est employée à produire cet effet: l'autre partie, qui devient latente, sert à dilater son volume. C'est elle qui se développe quand on réduit par la compression l'air ainsi dilaté à son volume primitif. La chaleur dégagée par le rapprochement de deux molécules voisines d'une fibre aérienne vibrante, élève donc leur température, et se répand de proche en proche sur l'air et les corps environnants; mais cette diffusion et l'irradiation se faisant avec une extrême lenteur relativament à la vitesse des vibrations, on peut supposer sans erreur sensible que, pendant la durée d'une vibration, la quantité de chaleur reste la même entre deux molécules voisines. Ainsi ces molécules, en se rapprochant, se repoussent davantage, d'abord, parce que leur température étant supposée constante, leur repulsion mutuelle augmente en raison inverse de leur distance; en suite parce que le calorique latent qui se développe élève leur température.

Newton n'a eu égard qu' à la prémière de ces deux causes de répulsion; mais il est visible que la seconde cause doit accroître la vitesse du son, puisqu'elle augmente le ressort de l'air. En la faisant entrer dans le calcul, je parviens au théorème suivant: La vitesse réelle du son est égale au produit de la vitesse que donne la formule newtoniène, par la racine carrée du rapport de la chaleur spécifique de l'air soumis à la pression constante de l' atmosphère et à diverses températures, à sa chaleur spécifique lorsque son volume reste constant ». Dalla memoria del Laplace *Sur la Vitesse du Son dans l'air et dans l'eau*, letta all'*Académie des Sciences* il 23 dicembre 1816.

calore — la velocità del suono a controllare i numeri su cui poggia lo stesso valore dell' equivalente dinamico della caloria; valore, per precisare il quale la fisica non può trascurare alcun mezzo, tanta ne è l'importanza.

Indubbiamente sta in ciò la spiegazione delle molte misure su la velocità del suono nell' aria che si ebbero subito dopo la formola del Laplace, tra il 1820 e il 1824. Mentre dal 1794 non v'erano state che quelle del Benzemberg — nel 1809 e 1811, tra Dusseldorf e il campanile di Ratingen dove il Benzemberg s'era stabilito per l'occasione, lontano 9 chilometri dall'altra stazione — nel breve periodo dei cinque anni indicati si contano ben otto determinazioni, eseguite — vale la pena di notarlo — in paesi diversi assai lontani anche tra loro, disparatissimi per condizioni.

Aveva cominciato il Goldingham — direttore dell'Osservatorio di Madras — con due serie assai importanti, l'una, durata dal 25 agosto 1820 al 3 novembre 1821, su una distanza di 29.547 piedi inglesi — tra l'Osservatorio e la caserma di artiglieria di S.t Thomasberg posta al nord-ovest dell'Osservatorio — l'altra, durata dal 22 luglio al 5 dicembre 1820, su una distanza di

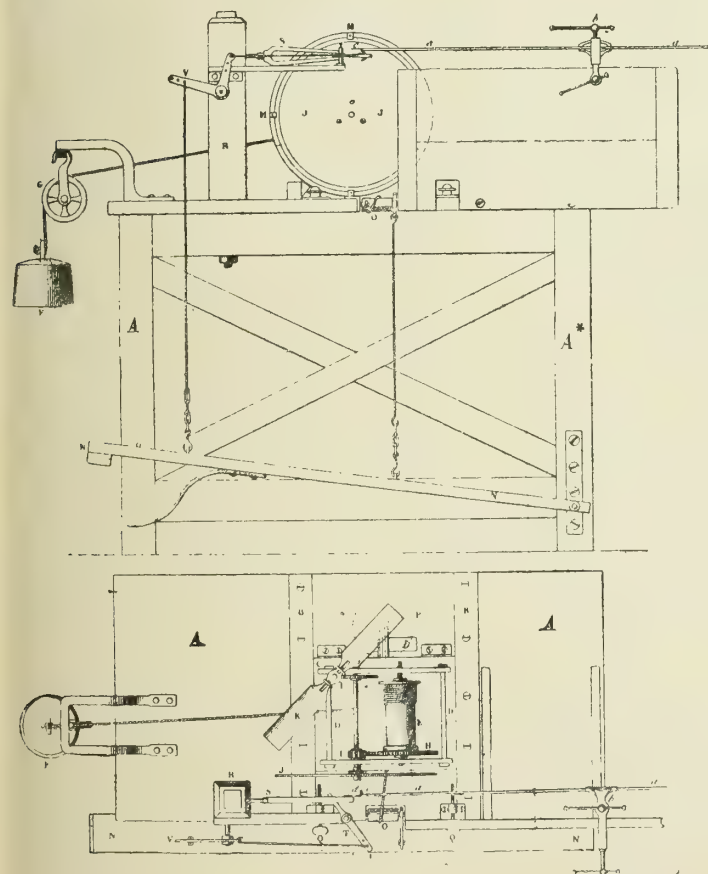



Fig. 1.

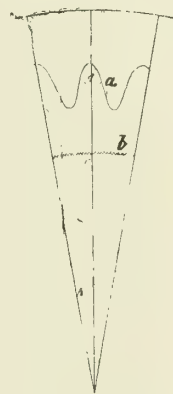



Fig. 2.

Esp. del Wertheim su la velocità del suono nei solidi.

Riprod. di dis. accomp. la prima delle celeb. mem. « Recherches sur l'Élasticité » presentate a l'*Acad. des Sciences* il 18 lug. 1842 e 8 maggio 1843, pubbl. dall'A. per est. in *Ann. de Ch. et de Phys.*, serie III. T. 12, 1844. Fig. 1, 2 e 3, Tav. II.

Legg. espl. — Fig. 1. Insieme dell'app : *A* tav. rob. di quercia; *B* guide tra le quali si può far scorr. l'app.; *F* peso che determina la rotaz. del disco *M* — su cui si inscrivono le vibraz. — mediante fune, cilindro *E* ed ingranaggio; *a* verga vibrante fissata nel mezzo med. una morsa; *S* diapason destinato alla misura del tempo.

Fig. 2 Parte del disco dopo l'esperienza; *a* grande curva ond. tracciata dalla estr. della verga vibr.; sotto di essa la curva *b*, ad ondulazioni piccolissime, tracciata dalle vibr del diapason.

13.932 p. ingl. — tra l'Osservatorio, ancora, e il Forte S. Giorgio situato in direzione opposta.

Nel 1822 — dal 16 agosto alla fine di settembre — tra Mönchstein presso Salzburg e Untersberg — stazioni lontane tra loro a volo d'uccello

9940 metri, ma con un dislivello di 4198 piedi parigini, ossia di 1364 m. — il maggiore Myrbach ed il prof. Stampfer avevano fatto oltre 112 osservazioni, e nel medesimo anno — il 21 e 22 giugno — si effettuarono altre esperienze — tra Villejuif e Montléry, distanti 9549,6 tese — da una Commissione del *Bureau des Longitudes*, composta da Prony e Bouvard — geometra l' uno, astronomo l'altro di quell' Ufficio insigne — e dai due astronomi aggiunti Mathieu e Arago; commissione alla quale — relazione ufficiale di Arago nel *Connaissance des Temps* del 1825 — erano stati associati per invito del *Bureau*, Humboldt « che nei suoi viaggi si era già occupato di osservazioni analoghe » e Gay-Lussac di cui « le esperienze recenti sul calore specifico dell'aria » avevano servito « di base alla nuova determinazione teorica della velocità del suono ottenuta da Laplace ».

Esp. del Kundt.

Dalla monog. orig. « *Ueber eine neue Art akusticher Staubfiguren*, ecc. in *Pogg. Ann.* Tomo CXXVII, 1866. Figure 7, 1,2,3,4 della Tav. V.

Legg. espl. — Fig. 1. Dispos. dell'esp. Le altre dànno le fig. nodali ott. con la polv. d i licopodio.

Nel 1823, in Olanda, Moll — professore all' Università di Utrecht — e Van Beek — con quattro pezzi di artiglieria messi a loro disposizione dal principe Federico dei Paesi Bassi e coll'aiuto di ufficiali e di allievi dell'Università diU trecht — sperimentavano nella landa di Utrecht, tra il Kooltjesberg presso Naarden e il Zevenbompjes, collinetta situata tra Utrecht e Amersfoort a 17669 m. dal primo; e nell'anno successivo — in maggio ed in agosto — il Gregory faceva presso Woolwich — tra Shooter's Hill e Charlton Lane lontani 6550 p. ingl., e tra Shooter's Hill ancora e Kidbrook Lane, distanti 8820 p. ingl. — delle determinazioni misurando anche con un molinello la velocità del vento; determinazioni a cui il Gregory stesso ne faceva seguire altre, misurando il tempo che impiegava il suono di una campana a percorrere una lunghezza di 1350 piedi.

Intanto nel secondo viaggio — 1821-22-23 — nell' America artica, durante lo sverno — 1822-23 — alla penisola di Melville di fronte all'isola Iglulik, il comandante Parry coi luogotenenti Nyas e Fisher faceva diciotto esperienze mediante colpi di cannone sparati, sette a distanza varianti tra 878 e 1629 m. ed undici a 2580 m. Sono queste le prime misure di velocità del suono fatte nelle regioni polari, e meritano perciò di essere ricordate con onore, ancora che i risultati — 326 m. a -0,° 7 e 300,5 a -40,°7, temperature misurate con la scala di Fahrenheit — non presentino grande attendibilità. Nel viaggio successivo, poi, lo stesso capitano Parry col suo luogotenente Foster, durante lo sverno — 1824-25 — a Port Bowen, pure nell' America artica, rinnovava le determinazioni, su una distanza di 12893 p. ingl. tra la terraferma ove stava il cannone e la corvetta ove erano i cronometri per la misura del tempo.

Ultime nella feconda serie di cui ci occupiamo vengono le quaranta esperienze del 31 ottobre, 3,5,14 novembre e 23 dicembre 1825, eseguite dal luogotenente Kendall su le rive del gran Lago degli Orsi durante il viaggio di Franklin, a distanze variabili tra 464 m. e 1856 m. e con temperature comprese tra - 2,°5 e - 40,°0.

In tanta differenza di climi — dalla latitudine tropicale di Madras a quella di 73°, 14' di Port Bowen — di temperature — dai - 38°,5 F., pari a - 39,2 C., notati dal Parry nelle misure dell'ultima serie, il 2 marzo 1825, ai + 33° C. di alcune determinazioni del Goldingham — con tanta varietà di distanze tra l'una e l'altra delle stazioni osservatrici — varietà che influisce evidentemente sul grado di esattezza — i numeri risultanti dovevano essere necessariamente molto diversi. Se però dai valori osservati deduciamo quelli che si sarebbero avuti ove fossero state e secca l' aria e di 0° la temperatura — col che le osservazioni divengono paragonabili tra loro e danno l'elemento di cui veramente abbisogna la fisica — si ha un discreto accordo.

Fig. 1.

Fig. 3. Fig. 3.

Le esp. del Kundt sui tubi sonori med. i veli di polvere silicea e le fiamme.
Riprod. delle fig, 1, 5 e *a* della Tav. X accomp. la mon. orig. « *Ueber die Erzeugung von Klangfiguren in Orgelpfeisen und ueber die Wirkung tönender Luftsäulen auf Flammen* » in *Pogg. Ann.*, Tomo CXXVIII.
Legg. espl. — Fig. 1. Dispos. dei veli silicei. Fig. 2. Canna sonora vibrante, con fiamma. Fig. 3. Particolari della costituzione della fiamma per l'az. delle vibrazioni.

Lasciando la prima serie del Parry, dalle altre le velocità risultano infatti di metri 331,3 per il Goldingham, 332,5 per Stampfer e Myrbach, 330,8 per l'Ufficio delle Longitudini, 332,8 per Moll e Van Beek, 329,0 per Gregory — le meno attendibili — 332,0 per Parry e Foster, 332,4 per Kendall.

In tutte coteste determinazioni si era seguito lo stesso metodo, quello dello sparo di colpi di cannoni — reciproci, in parecchie tra esse, allo scopo di eliminare la influenza della velocità del vento. — In seguito — sempre per l' aria — ne furono fatte con lo stesso sistema da Bravais e Martin — desiderosi di ripetere con un maggiore dislivello quelle di Stampfer e Myrbach — il 24, 25 e 27 settembre 1844 tra il piccolo villaggio di Tracht sulle rive del Lago di Brienz e la cima del Faulhorn più alta di 2079 m. su l'altra stazione. — Essi danno — la monografia si trova negli *Ann. de Ch. et de Phys.*, serie III, t. 13 — come valore medio osservato 338,^{m}01, che ridotto all'aria secca a 0° corrisponde a 332,^{m}37.

Dopo questa, non si ebbe — nell'aria libera — che la celebre determinazione dell'inverno del 1864 per opera del Regnault al Poligono di Satory. Essa venne fatta con tutte le cure che poteva ideare uno tra i più valenti esperimentatori che abbiano avuto le scienze fisiche. Si usarono tiri reciproci alternati ad un minuto d' intervallo, solo mezzo per eliminare l' influenza

della velocità del vento, giacchè, salvo il caso in cui questo sia molto forte, la direzione su un percorso riflessibile — la distanza accuratamente misurata, era di 2850 m — ne è estremamente variabile, cosicchè è impossibile avere gli elementi per le correzioni necessarie. Furono usati a ciascuna stazione cronografi elettrici, sui quali l'istante in cui partiva il colpo veniva a segnarsi per la rottura — provocata dallo sparo stesso — di un filo teso alla bocca del cannone, e quello in cui arrivava l'onda sonora dall'aria si inscriveva per il ristabilirsi o l'interrompersi di una corrente, operati mercè le deformazioni che l'onda stessa operava in una sottile membrana tesa di caucciù.

Le interferenze dei suoni. — Esp. di Hopkins e di Lissajous.

Malgrado coteste precauzioni, e malgrado che la maggiore cura fosse stata messa anche nel rilevare tutti gli altri elementi necessari, come la temperatura e la umidità, i risultati non presentarono quella concordanza che sarebbe stato legittimo attendersi: ridotti alle solite condizioni variano da 330m,78 a 331m,74.

La differenza potrà non sembrare grande: invece lo è — relativamente — quando si tenga presente l'alto valore dello sperimentatore.

Esse dimostrarono che per cotesta via sarebbe stato impossibile raggiungere il grado di esattezza conseguibile invece in altre determinazioni, anche di natura tale che cotesta ne appaia a prima giunta assai più facile.

Già lo aveva veduto F. P. Leroux discutendo i risultati ottenuti appunto nell'aria libera fino a Bravais e Martin, vale a dire tutte le antecedenti, giacchè le esperienze accennate del Regnault furono pressochè contemporanee a quelle del Leroux. Questi aveva perciò pensato ad una determinazione in uno spazio limitato, e realizzò il suo piano con un tubo di 7 cm. di diametro lungo circa 72 metri, chiuso alle teste da sottili membrane, ripiegato nel mezzo, e collocato — salvo che nelle estremità — in un bagno del quale era mantenuta a 0° la temperatura. L'onda vi era prodotta dall'esplosione di una capsula di fulminato di mercurio, e l'inscrizione degli istanti di partenza e di arrivo erano fatte con un procedimento elettrico speciale su di una tavoletta verticale alta 3 m., cadente liberamente: una scintilla elettrica vi lasciava una traccia su una superficie di argento jodurato.

Quasi alla stessa epoca il Regnault batteva una strada analoga, valendosi però delle condotte da gas o da fognatura.

Eseguiti su condotti di lunghezze variabili da 70 m. a 5 chilometri, e nei quali il suono — riflettendosi successivamente ad ogni arrivo ad un estremo — poteva percorrerne fino a 20; su onde eccitate in maniere diversissime — colpi di pistola, suoni musicali, moti bruschi di uno stantuffo — gli esperimenti del Regnault hanno messo in luce — oltre che la influenza delle pareti — il fatto che la velocità andava decrescendo con l'affievolirsi del suono:

da 332^m, 18, osservata per un percorso di 3810^m — in un tubo del diametro di 30 cm. — scendeva a 328,96 quando il percorso aveva raggiunto i 15240; e da 344,16 per 749 m. — in un tubo del diametro di 1^m, 10, — diminuiva progressivamente fino a 330^m, 52 per 19851 metri di cammino.

In un'epoca non lontana da noi — nel 1885 a Grenoble in un condotto ad U lungo circa 13 km. e del diametro di 70 cm., e nel 1895 ad Argenteuil, in un condotto del diametro di 3 m. e lungo 3 km — Violle e Vautier ripeterono delle misure, valendosi degli stessi apparecchi cronografici di cui si era servito il Regnault. Essi ebbero a rilevare come i suoni acuti si estinguono assai prima dei gravi: il do_1 di 32 vibrazioni doppie era ancora sensibile dopo che aveva percorso — con sette riflessioni — ben 23 chilometri, mentre invece il re_7 di 4600 v. d. perdeva ogni carattere musicale dopo 1800 m. — senza riflessione — e si spegneva completamente a 2000. Altra circostanza curiosa, il suono iniziale si separava dalle sue armoniche e queste lo seguivano nell'ordine 6ª, 5ª, 4ª, 3ª senza per altro, data la maniera con cui le esperienze erano regolate, che si potesse — dice il Violle nella sua comunicazione al Congresso Internazionale di fisica tenuto a Parigi nel 1900 — « concludere da ciò una inuguaglianza nelle velocità con cui si propagano i diversi suoni ».

Quanto al valore risultante da coteste belle esperienze — nelle ultime tra le quali il tempo « era valutato facilmente » al millesimo di minuto secondo — esso è, per le solite condizioni, di 331^m,39.

Noteremo di passaggio come delle stesse condotte che gli avevano servito per l'aria il Regnault approfittasse per esperimentare su altri gas quali l'idrogeno, l'anidride carbonica, il protossido d'azoto, il gas ammoniaco, e come i risultati confermassero — in modo pienamente soddisfacente per tutti — tranne forse che per il gas ammoniaco — il quale è, del resto, nelle condizioni ordinarie, ben lontano dall'essere un gas perfetto, trovandosi troppo vicino al suo punto di liquefazione — la legge teorica fondamentale che i quadrati delle velocità hanno tra loro grandezza relativa inversa di quella delle densità specifiche, ossia che quanto più è il gas specificamente leggiero, tanto maggiore è proporzionalmente il quadrato della velocità.

Le interferenze dei suoni. — Gli apparecchi del Quincke.
Riprod. delle fig. 1, 2, 3, 4*a*, 4*b* e 5*b* della Tav. VI che accomp. la mem. orig. « *Ueber Interferenzapparate für Schalwellen* » in *Pogg. Ann.* Tomo CXXVIII.
Legg. espl. — Quattro delle fig mostr. diverse dispos. atte a guidare da una imboccatura punto ad un' altra le onde sonore per vie di differente lunghezza. Le altre mostrano i risuonat. di cui il Quincke muniva gli apparecchi.

Oltre cotesti metodi diretti, i fisici ne immaginarono di indiretti.

Ingegnosissimo quello del Koenig. Egli — mediante la corrente elettrica, interrotta e ristabilita da una lamina elastica vibrante — faceva che ad ogni decimo di secondo un martelletto desse un colpo secco battendo su un bottone fissato nella parete di una cassa di risuonanza: tenendo vicino ad esso un altro apparecchio in cui i colpi fossero esattamente contemporanei, udiva, naturalmente, dieci soli colpi per secondo, poichè gli uni coincidevano con gli altri ed il rumore doveva impiegare lo stesso tempo per giungere all' orecchio. Invece, facendone allontanare uno, il numero dei colpi che egli udiva si trovava raddoppiato; erano venti. Ma quando, per il continuo allontanarsi, il secondo martelletto era giunto a distanza tale che il suono per arrivare allo sperimentatore — mantenutosi presso il primo — dovesse impiegare precisamente un decimo di secondo, il numero dei colpi ridiventava di dieci; dalla distanza — è evidente — si poteva — semplicemente col moltiplicarla per dieci — dedurre lo spazio che il suono percorre in un secondo.

Numerose le determinazioni indirette basate sul fatto che quando una canna sonora canta, la distanza tra due ventri consecutivi è uguale a metà della lunghezza dell'onda. Raddoppiandola si ha la lunghezza dell'onda intera, e, come per quelle dell'etere, moltiplicando questa per il numero — per secondo — delle vibrazioni corrispondenti alla nota resa dalla canna, si ha appunto la velocità di propagazione del suono. È metodo semplice in apparenza: in realtà non è facile misurare la distanza dei ventri, e il Bernoulli che lo aveva ideato non potè arrivare a risultati soddisfacenti.

Vi giunse invece il Dulong. Egli affondava un embolo in una canna sonora cilindrica molto stretta, alla quale l'aria arrivava con velocità tale da farle rendere un'armonica molto elevata; abbassando lo stantuffo, il suono cambiava per un certo tratto, ma poi ad un punto ben preciso riappariva nella identica tonalità di prima: lo spostamento dello stantuffo era la distanza cercata. Moltiplicandola per il doppio del numero delle vibrazioni corrispondenti alla nota resa del tubo, si aveva la velocità di propagazione del suono. Ed iniettando un gas diverso dall' aria — ossigeno, idrogeno, anidride carbonica, ossido di carbonio, ecc. — e mantenendo la canna — orizzontalmente — in una cassa ripiena dello stesso gas, il Dulong faceva la determinazione per esso in maniera analoga.

Cotesto cantare di una canna immersa in un gas per iniezione del gas è un effetto della fluidità e della elasticità: il procedimento deve dunque potersi applicare ai liquidi — fluidi, essi pure, ed elastici —. All'atto pratico riesce assai difficile il far cantare il tubo, e il Cagniard de la Tour, che aveva fatto qualche tentativo per cotesta via, non aveva avuto successo.

Lo potè pero il Wertheim.

Questi aveva cominciato da molte misure relative all' aria col metodo del Bernoulli, determinando in modo molto semplice ed ingegnoso le correzioni per quello che nel metodo originario era causa di errore.

Egli ottenne poi « dopo uno serie di esperienze, sul principio infruttuose », di far rendere il suono fondamentale e le sue armoniche ad una canna da organo interamente sommersa in un liquido, per iniezione del liquido stesso che veniva pompato dal serbatoio e vi era ricacciato con pressione ed in mi-

sura atta a determinare la nota opportuna. I risultati avuti, troppo lontani dal vero — aveva ottenuto 1173 m. per l'acqua, mentre celebri misure dirette in quella del lago di Ginevra, delle quali diremo tra breve, avevano dato 1435 m. a 8° C. — furono d'occasione al Wertheim, sia di bellissime considerazioni su la maniera con cui si trasmettono nei liquidi le pressioni quando sono in istato vibratorio, sia di studi su non sospettate deformazioni dei liquidi in coteste trasmissioni del suono; considerazioni e studi, che lo portarono ad indicare i principi su cui dovevano basarsi le correzioni ai risultati di osservazione.

Si fu per cotesta via che il Wertheim potè additare un mezzo sicuro per determinare la velocità di propagazione del suono nei liquidi, e darne egli stesso valori esatti per l'acqua dolce — della Senna — per quella di mare, — artificiale, dice il Wertheim — per parecchie soluzioni saline e perfino per l'alcool del commercio, per quello purissimo, per l'etere, e per il terebenteno.

A proposito di cotesti lavori importantissimi del Wertheim dovrà pure osservarsi che essi hanno messo la fisica in grado di dedurre la velocità di propagazione del suono in un liquido qualsiasi — tanto in una colonna quanto in una massa illimitata — semplicemente dalla comprimibilità del liquido stesso!

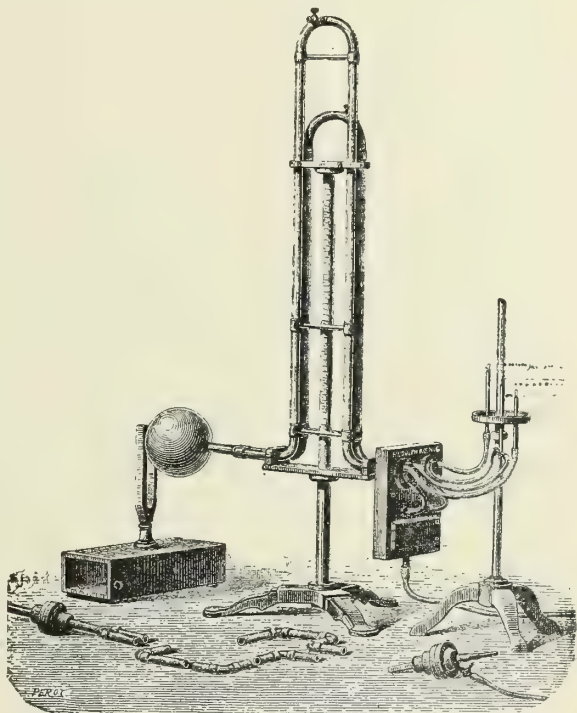
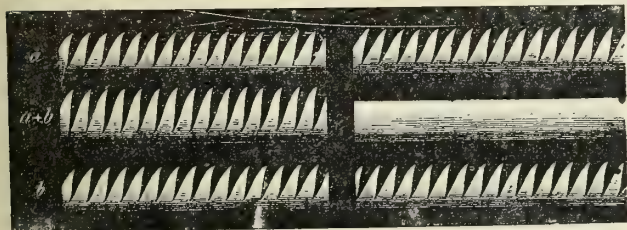



Fig. 1.

Fig. 2.

Le interf. dei suoni. App. ed esp. del Koenig.
Ripr. delle fig. 33 e 34 dell'op. del Koenig *Quelques Exp. d'Ac.* — Il disegno orig. dell'app. — con qualche diff. nei particolari — si trova in *Pogg. Ann.*, T. CXLVI. pag. 195.
Legg. espl. — Fig 1. Apparecchio per le interferenze
Fig. 2 Linea sup. e linea inf, immagini delle fiamme dei due suoni quali sono date dalle risp. capsule; linea intermedia, immag. della fiamma risultante secondo che alla capsula comune i suoni arrivano in concordanza od in opposizione di fase.

Nell'acqua del Lemano la velocità era stata determinata 22 anni prima che il Wertheim pubblicasse la sua memoria. Quelle esperienze erano state eseguite nel 1826 — 7, 15, 18 novembre —. Sono generalmente attribuite a Colladon e Sturm, forse perchè la loro relazione è inserita nella grande *Memoire sur la Compression des Liquides* che porta il nome di entrambi. In realtà però nella memoria — là ove si parla di quelle celebri esperienze — è detto: « l'un de nous a fait, etc. », ed una nota a piede di pagina indica lo sperimentatore nel Colladon.

Detto questo per correggere un errore in cui incorrono tutti i trattati di fisica, ricorderemo che il Colladon — dopo alcune prove da cui ottenne il convincimento che avrebbe potuto operare ad una distanza grande — scelse per la determinazione lo spazio tra Rolle e Thonon, dove il lago ha la sua massima larghezza, ha una profondità media di 140 m., non offre traccia di correnti, dove l' acqua ha una grande trasparenza, e la profondità è troppo grande perchè l'agitazione delle onde possa turbarla.

A circa 200 metri dalla riva stava da ciascuna parte un battello. Uno di essi portava una robusta trave da cui pendeva una fune reggente una campana — alta 70 cm. e di un diametro un po' minore dell'altezza — interamente sommersa alla profondità di un metro: alla trave era fissata una leva angolare « di cui l'estremità superiore era nel battello, mentre l' altra era sommersa e serviva da martello per battere sulla campana. Si poteva così battere con forza, malgrado la resistenza del liquido ». La manovra stessa occorrente a ciò faceva girare una « *lance á feu* » in modo che nello stesso istante in cui avveniva la percussione su la campana, si accendeva della polvere da sparo — un quarto di libbra circa — producendosi « un lampo, dice il Colladon, che assai facilmente si vedeva dall'altra stazione, quantunque la curvatura della terra intercettasse la visione di ogni oggetto posto a meno di nove metri su l'acqua ».

Su l'altro battello stava appunto il Colladon con un cronometro a quarti di secondo e coll'orecchio applicato all'estremità di un tubo cilindrico di sottile lamiera metallica — lungo cinque metri, — che si espandeva in basso così da finire con una larga apertura verticale — di circa venti decimetri quadrati — chiusa da una membrana piana metallica. La membrana — sommersa — era rivolta verso la prima stazione, ed il Colladon poteva ricevere il suono della campana che gli giungeva attraverso all'acqua. Dalla media delle esperienze — 14 il primo giorno, 13 il secondo e 17 il terzo — il tempo decorrente dall' apparizione del lampo alla percezione del suono risultò un po' superiore ai $9^{s}1/4$; tenendo conto delle correzioni inerenti alla differenza di tempo che doveva passare tra l'istante in cui venivano avvertiti lampo e suono e quello nel quale si operava su lo scappamento del cronometro, il Colladon valutò la durata della trasmissione in $9^{s},4$; e siccome la distanza tra i battelli era di 13487 metri, dedusse 1435 m. come velocità, alla temperatura media dell'acqua — risultatagli di 8°,1 C. —

Sono queste le sole misure fatte con trasmissione diretta in una massa liquida, praticamente illimitata.

Fortunatamente — grazie specialmente al Wertheim — il fisico può oggi — come si disse — determinare per via diretta e con tutta sicurezza la velocità di propagazione del suono in qualunque liquido studiandone la comprimibilità; elemento per il quale gli basta possedere, del liquido, una quantità molto piccola — pochi centimetri cubi —. Tra coteste determinazioni indirette, ricorderemo quelle del Matthiessen — che operò anche sul mercurio — eseguite verso il 1870.

Quando ai solidi, vengono prima le classiche esperienze del Biot, comunicate all'Istituto di Francia — novembre del 1808 — ed a quella « Société

d'Arcueil » i cui membri — non arrivavano alla decina — si chiamavano Laplace, Gay-Lussac, Hamboldt, Malus, Thénard, De-Candolle. Il Biot le aveva eseguite sui tubi di ghisa dell'acquedotto di Arcueil, talvolta con delle trasmissioni di suoni reciproci tra le due estremità — operava con Malus e Bouvard — talvolta invece determinando la differenza di tempo colla quale attraverso alla ghisa e attraverso all'aria giungeva ad una estremità un suono prodotto a quella opposta, e deducendo poi il numero voluto da cotesta differenza di tempo e da quello — calcolabile poichè la lunghezza del tubo era nota — che il suono doveva impiegare per giungere attraverso all'aria. Così in una serie di esperienze eseguite con Bouvard calcolava $0^s,579$ come tempo per il percorso nell'aria, ed avendo trovato un ritardo di 0,542 per il suono giungente attraverso all'aria rispetto all'altro, aveva dedotto che nella ghisa — 197 m. circa di lunghezza — il suono aveva impiegato $0^s,037$.

I metodi generalmente usati per i solidi — e se ne comprende facilmente la ragione — furono tuttavia gli indiretti, come quelli — già menzionati — di cui si era valso il Chladni e come l' altro basato su una formola data dal Laplace, nella quale entrano quali elementi necessari il grado di elasticità e la densità specifica della sostanza; valori, cotesti, determinabili mediante l'esperienza. Così operarono il Savart, il Masson, e molto più tardi, nel 1868, lo Stephan; così operò il Wertheim per quelle sue *Recherches sur l'Elasticité*, presentate all'Accademia di Francia in parte in piego suggellato nel luglio 1841, al completo in una memoria del luglio 1842 e in due altre del maggio 1843; memorie che sono tra i lavori più belli ed importanti in una materia che era stata trattata analiticamente da uomini come Hooke, Eulero, Lagrange, Taylor, Laplace, Poisson, Cauchy, e sperimentalmente da scienziati quali Coulomb, S'Gravesande, Tredgold, Rennie, Leslie, Young, Savart, Weber, Lagerhjelm ed altri, geometri e sperimentatori insigni. A proposito di cotesti lavori del Wertheim dobbiamo poi notare come egli — invece di valutare musicalmente il suono reso

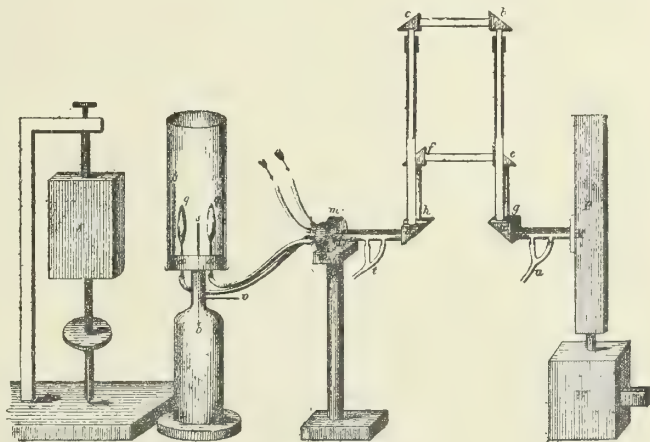



Fig. 1

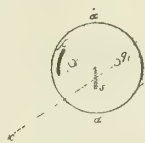
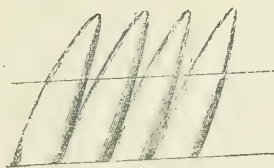
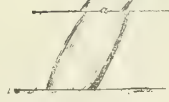



Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.

Le interferenze del suono. Esp. dello Zoch per determ. la vel. del suono nei gas.

Riprod. dalla monoh. orig. « *Ueber ein neues Verfahren zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Gasen* » (fig. 7, 8, 10, 11 della Tav. VI, Tomo CXXVIII *Ann.* di *Pogg.*).

Legg. espl. — Fig. 1. Ved. compl. dell'app.: *P* canna sonora; *gefh*, *gbch* tub. di lungh. div. per prod. la diff. di perc. dell'onda; *q*,*q'* fiamme sensib.; *bs* specchi fissi destin. a otten. la rifl. della p. inf. della fiamma *q* nello sp. gir. *S*.

Fig. 2 Disegno dimostr. dell'and. dei raggi lum. delle due fiamme.

Fig. 3 Immag. delle fiamme data dallo spec. gir. quando non vi è diff. di fase nel suono.

Fig. 4. Spost. recipr. delle imm. delle fiamme nel caso opposto.

dalla verga per dedurre poi il numero di vibrazioni — registrasse queste — l'idea era venuta dai lavori del Duhamel — su di un disco, insieme a quelle di un diapason normale da 256 vibrazioni doppie per secondo che gli aveva costruito con cura tutta speciale il valente Marloye.

Un metodo indiretto nuovo, geniale e fecondo ebbe trovato il Kundt. Partendo da un fatto che era stato descritto dal Weber nel tomo LIII del *Giornale di Shcweigger* — l'avanzarzi fino al nodo, che è nel mezzo, e il rimanervi immobile, di un tappo di sughero posto ad una delle estremità di un lungo tubo di vetro quando questo sia tenuto per il mezzo e lo si strofini ad un estremo in modo da farlo vibrare longitudinalmente — era stato condotto ad una serie di esperienze elegantissime — comunicate all'Accademia delle Scienze di Berlino il 22 maggio 1865 — alcune delle quali veramente singolari — un tappo opportunatamente scanalato alla sua superficie era capace di trascinare, durante la vibrazione, perfino un peso di 200 grammi — ed alla conclusione che cotesti moti erano dovuti alle vibrazioni trasversali. Il Kundt si era, così, trovato davanti la questione dei rapporti tra le vibrazioni della parete del tubo e quelle della colonna d'aria: distribuendo nel tubo della polvere di licopodio aveva constatato il raggrupparsi regolarissimo di questa in modo da indicare con la maggiore evidenza la formazione di nodi, che sagace discussione delle condizioni e dei risultati dell' esperienza gli aveva mostrato dovere dipendere dal rapporto tra la velocità di propagazione del suono nella sostanza costituente il tubo e quella nel gas racchiuso in esso.

Più precisamente: per il suono maggiormente grave che si può ottenere facendo vibrare la materia del tubo — chiuso alle estremità — la lunghezza di questo corrisponde a metà della lunghezza d'onda nella materia stessa e la distanza di due gruppi nodali successivi di polvere di licopodio dà invece l'analoga lunghezza per il gas riempiente il tubo. Quante volte cotesta distanza di due gruppi successivi è contenuta nella prima — lo dice il numero stesso dei gruppi — altrettante volte, adunque, la velocità di propagazione del suono nel gas è superata da quella relativa alla materia costituente il tubo: conosciuta la prima, è facile dedurne la seconda. All'apprezzamento della nota musicale del tubo come nel metodo del Chladni, od alla registrazione del numero delle vibrazioni, come usava il Wertheim, veniva così a sostituirsi dal Kundt l'operazione del contare un certo numero di gruppetti di polvere.

Quanta semplificazione e quale eliminazione di cause di errori!

Il Kundt perfezionò poi il modo di osservazione — alla polvere di licopodio sostituendone un' altra impalpabile ottenuta da precipitato di acido silicico —: ed ebbe ad osservare il fatto curioso che questa — durante le vibrazioni — forma ai nodi dei veli esilissimi i quali si elevano dal fondo del tubo talvolta quasi per la intera sezione di esso. Avendo poi studiato le vibrazioni dei tubi sonori mediante una fiamma di gas introdotta nell'interno, trovò l'altro fatto non meno curioso ed interessante del dividersi essa in zone alternativamente chiare ed oscure.

Coteste memorie ed una successiva — in *Monatsbericht* del 19 dicembre 1867 — suscitarono un interesse vivissimo, e in gran parte confermarono pienamente alcune delle leggi stabilite dal Regnault.

Il prof. A. de Eccher istituì subito nuove esperienze col metodo di Kundt, e pervenne— *Nuovo Cimento* T. 5 e 6, serie 2ª, 1871 — anche a dedurre un metodo nuovo con cui determinare il numero di vibrazioni della nota fondamentale e delle armoniche, nonchè a mostrare come, eccitando mediante un diapason le vibrazioni in un tubo di vetro, si possa dalla distanza dei nodi — ch'egli determinava con polvere di sughero invece che con quelle di licopodio o silice, ed è variabile con la temperatura — stabilire appunto la temperatura dell'ambiente.

E delle figure del Kundt si valse il Melde verso il 1890 per misurare la velocità di propagazione del suono nei corpi membranacei. Provocando le vibrazioni longitudinali nella membrana tesa verticalmente in modo che rendesse il suono fondamentale — e valutando questo con un *tonometro* a quattro vibrazioni, ovvero appunto producendo le figure del Kundt in un tubo di vetro di cui l'aria veniva messa in oscillazione longitudinale dalla striscia membranacea — il Melde trovò che nella carta la velocità va da un minimo di 1600 m. al minuto secondo per quella di paglia ad un massimo di 2700 per quella di seta gialla; nella carta con preparazione, come la oliata, la pergamenacea, ecc. varia dal minimo di 1400 per quelle copiative ad un massimo di 2600; per le stoffe di seta, cotone, lana, lino dai 200 ai 760; per la tele cerate si ha quasi lo stesso valore che per l'aria: per il caucciù e le gomme riscontrò la impossibilità di farle vibrare longitudinalmente in modo da averne un suono netto, per una membrana di magnesio la velocità di 4600 m., per le vegetali da 3000 a 4000; per quelle animali da 470 a 1860.

La lente del Sondhauss per la concentraz. dei raggi sonori.

Dalla monog. orig. « *Ueber die Refraction des Schalles* » in *Ann. der Phys. und Ch.* T. LXXXV.

Gli esempi dati bastino a mostrare l'importanza che nella storia della scienza va attribuita al metodo del Kundt.

Dobbiamo però ricordare anche come esso abbia consentito che venissero messe in commercio delle canne già preparate contenenti diversi gas, e mediante le quali le belle esperienze sono diventate perfino esperienze da lezione.

Su coteste esperienze di corso riguardanti la velocità di propagazione del suono è, poi, ad aggiungersi qualcosa relativamente al contributo portatovi dal Quincke e da coloro che seguirono la via da lui additata.

Per dimostrare i fenomeni di interferenza — cotesti fenomeni tanto interessanti, per i quali un'onda sonora, come si è detto avvenire per quelle dell'etere, ove ad essa se ne aggiunga un'altra, può essere, secondo i casi, rinforzata, od invece indebolita al punto che ogni suono sia estinto — si idearono esperienze numerose e assai belle e convincenti.

Già fino dal 1801 il Young aveva fatto conoscere alla *Royal Society* di Londra che un diapason offre delle variazioni nella intensità del suono quando lo si gira; osservazione che doveva molto più tardi — nel 1867 — dare luogo a studi interessanti del Kiessling — T. CXXX degli *Ann.* di *Poggendorff.* — Poi non è a dimenticarsi che il Despretz, nel 1845, aveva detto nella comunicazione sul limite dei suoni percettibili — seduta del 28 aprile — come

mediante due fischietti avesse potuto ottenere nell' aria delle linee alternativamente sonore e silenziose.

Due altre belle esperienze — che si ripetono nei corsi anche elementari — vennero ideate, l'una dall'Hopkins, l'altra dal Lissajous, basandosi sul fatto che in una lamina vibrante in modo da dividersi in settori, due consecutivi di questi sono sempre in fase opposta: mentre l'uno si innalza, l'altro si abbassa; mentre l'uno comunica all'aria il moto per cui si propaga in essa l'onda condensata, l'altro determina l'onda rarefatta, cosicchè una delle onde tende ad annullare l'effetto dell'altra.

Camillo Hajech.

Un tubo capace di vibrare all'unisono con la lamina, biforcantesi in basso e terminante superiormente in una cavità chiusa da una membrana impolverata come per l' esperienze del Chladni, rinforza notevolmente il suono e mostra la sabbia oscillante quando i due rami sono tenuti sopra settori — della lastra vibrante — in uguale fase di vibrazione; è, invece, inerte e mostra la sabbia perfettamente immobile quando i due rami sono tenuti sopra due settori vicini, o comunque situati, purchè in fase opposta di vibrazione; è l' esperienza che William Hopkins descrive in una nota apposta ad un punto della importante monografia — *Transact. of the Cambridge Phil. Soc.* Vol. V, p. II — « Sulle oscillazioni dell'aria in tubi cilindrici » pubblicata nel 1838.

Un cartoncino, ritagliato in modo che possa coprire esattamente tutti i settori della lamina — e quelli soltanto — che sono in una medesima fase di vibrazione, rinforza notevolmente il suono quando — mediante un filo passato al suo centro — è tenuto appunto sopra tutto un sistema di settori, così che intercetti completamente le onde generate dall'altro; l'azione rinforzante diminuisce quando il cartone venga girato in modo che ciascuno dei suoi settori copra parte di due consecutivi della lamina; cessa affatto quando le parti coperte sono uguali per tutti; è l'esperienza del Lissayous, da lui comunicata all'Accademia delle Scienze di Parigi nella seduta del 15 gennaio 1855.

Si fu nel febbraio del 1866 che il Quincke nella nota *Ueber Interferenzapparate für Schalwellen* — t. CXXVIII degli *Ann. di Pogg.* — pubblicava quell'apparecchio geniale — suggerito da idee di J. F. W. Herschel e di Nörremberg — che ne porta il nome.

Un piccolo tubo si divide in due rami che si ricongiungono in un tubetto unico, e, mentre uno dei rami ha una lunghezza costante, l'altro può essere allungato od accorciato, perchè è fatto di due pezzi scorrevoli — a tenuta d'aria — l'uno nell'altro. Quando la differenza dei due rami è nulla od uguale ad un numero pari di volte la metà della lunghezza dell'onda corrispondente ad un dato suono, questo, prodotto davanti ad una delle imboccature, si ode forte all'altra: quando i due rami differiscono tra loro di un numero impari di volte quella lunghezza, il suono vi rimane estinto.

L'apparecchio — cui il Quincke diede varie disposizioni mutandone i particolari ed impiegandovi pure i risuonatori che l'Helmholtz aveva da poco inventati — permette così di realizzare le condizioni nelle quali le onde propagantisi per un ramo debbono rinforzare od attutire quelle che si propagano per l'altro, giacchè la differenza di cammino può essere regolata per modo che i due moti vibratori giungano esattamente nella medesima fase od in fase opposta.

Si capisce come il Koenig vi applicasse poi la disposizione per le fiamme manometriche: egli, anzi, ne fece un mezzo comodissimo anche per determinare la velocità di propagazione del suono, disponendolo in modo che si possa operare con suoni puri — mediante risuonatori e diapason — per i quali è poi anche facile la produzione di vibrazioni in numero determinato.

Alla stessa epoca del Quincke, Ivan Branislav Zoch faceva costruire un apparecchio ingegnoso a fiamme che presenta dell'anologia con una delle disposizioni del Quincke ed insieme con quella del Koenig, in quanto l'onda sonora doveva biforcarsi e percorrervi cammini tubolari di lunghezza diversa. Ciascun ramo finiva però ad una fiamma speciale, e queste, mediante un semplice giuoco di specchi, venivano a riflettersi in modo che, quando nel tubo non si propagava suono, la parte superiore di una completasse l'altra, di cui per riflessione non poteva vedersi se non la parte inferiore.

La stessa apparenza si aveva se, pur propagandosi il suono, questo giungeva nella medesima fase ad entrambi; e lo specchio girevole dava allora

Sulla rifrazione del suono memoria letta
all'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere
il 12 giugno 1856
altra comunicazione sullo stesso soggetto
maggio 1857.

Autogr. di Camillo Hajech.
Ritr. fotogr. e autogr. furono cortes. fav. dalla Famiglia.

una serie di dentellature quale è quella che si ha da un'unica fiamma, mentre nel caso opposto le dentellature apparivano spezzate, cioè le loro estremità erano spostate lateralmente rispetto alle parti sottostanti. Dallo spostamento era possibile allo Zoch — il lavoro venne compiuto al laboratorio dell'Università di Erlangen — dedurre la velocità del suono nell' aria o nel gas riempiente i tubi.

Con una delle disposizioni del Quincke fecero pure determinazioni lo Schnaebeli a Zurigo nel 1868 ed altri.

Di cotesto metodo di osservazione citeremo ancora una applicazione curiosa.

Il Mayer — *Dana's and Silliman's American Journal, dic.* 1872 — basandosi su di esso, costruiva un *pirometro acustico*, istrumento nel quale il suono serviva a misura delle temperature elevatissime. Usava una canna da

organo munita di capsula manometrica ed un risuonatore all' unisono con essa. Il fondo di questo comunicava con altra capsula mediante un tubo lungo 13 m., di cui una parte passava entro l'ambiente del quale voleva esplorare la temperatura. Le capsule erano collocate l'una presso l'altra; la variazione della temperatura — mutando la lunghezza d'onda — determinava nell'una uno spostamento dal quale era possibile dedurre i gradi di calore. Apparecchi analoghi idearono Chautard e, recentemente — nel 1897 — col nome di *termometro acustico*, lo stesso Quincke.

Col ricordare che la sirena doppia dell'Helmholtz è pur sempre per eccellenza l' apparecchio atto allo studio delle interferenze chiuderemo questi cenni su esperienze, che interessano assai anche i profani perchè — se riesce facilmente prevedibile che un suono aggiungendosi ad un altro possa rinforzarlo — appare, a prima giunta, bene spesso quasi paradossale che un suono aggiungendosi ad un altro abbia a dare il silenzio, e che occorra far tacere uno di essi perchè suono si intenda.

Potremmo chiudere anche la rapidissima corsa nel campo dell' acustica pura, se non dovessimo dire una parola di un altro studio completamente nuovo per il secolo XIX, e che, anzi, si fece solo nella seconda metà di esso: quello della rifrazione (1).

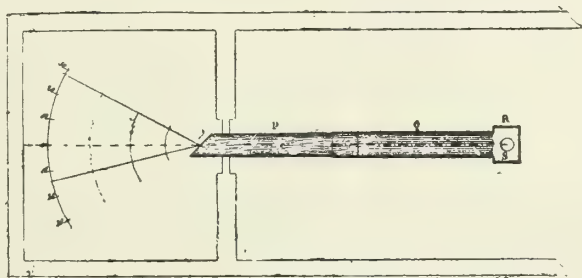
Come avviene delle luminose, le onde sonore, passando da un mezzo ad un altro per il quale cambia la velocità di propagazione, devono deformarsi: un raggio sonoro che incontri obliquamente la superficie di divisione dei due mezzi deve deviare dal suo cammino. Che se leggi analoghe reggessero i due fenomeni, una lente biconvessa costruita con materiale in cui il suono si propaghi più lentamente che non nell'aria dovrebbe operare sul suono come una analoga di vetro opera su la luce. È ciò che venne verificato da Carlo Sondhauss nel 1852 mediante una lente appunto biconvessa formata da due calotte sferiche di collodio — ritagliate da un pallone preparatogli da Müller farmacista di Breslavia — ed applicate a tenuta contro le teste di una lamiera metallica cilindrica del diametro di poco più che 11 pollici di Francia — circa 30 cm. —. Riempita la lente di anidride carbonica e collocato su l'asse, ad opportuna distanza da essa, un orologio, egli poteva constatare che il battito si concentrava in un altro punto dell' asse e al di là della lente, analogamente a quanto sarebbe avvenuto di raggi luminosi concentrati da una lente biconvessa di cristallo.

(1) È curioso che si sia pensato allo studio della rifrazione del suono solo nella seconda metà del secolo, mentre già fino dal 1826 il Colladon aveva osservato un fenomeno che fu ritenuto — non diciamo che sia — di *riflessione totale* del suono, operata dalla superficie libera dell'acqua del lago di Ginevra.

È quella — crediamo — la sola osservazione che si abbia riguardante il curioso fenomeno, e ci sembra interessante riferire le parole stesse del Colladon. Sono nella Memoria già citata del medesimo e dello Sturm.

« Quando, dice l'eminente fisico, si fa risuonare un corpo situato in una massa d'acqua tranquilla e un po' sotto la superficie, una persona posta fuori dell'acqua ed a poca distanza, udrà distintissimamente il rumore prodotto dall'urto di quel corpo in direzione radente la superficie dell'acqua, essa avvertirà una diminuzione molto rapida nell'intensità del suono ed infine ad una distanza di 200 o 300 metri, essa non udrà assolutamente rumore alcuno fuor dell'acqua, anche ove l'orecchio fosse collocato vicinissimo alla superficie del liquido. Tuttavia se, a tale distanza o ad una maggiore, essa immergesse la testa nell'acqua, udrebbe immediatamente il rumore in un modo perfettamente distinto.

Sembra pertanto che i raggi sonori che vengono ad incontrare la superficie sotto un angolo molto acuto non passino nell'aria, ma subiscano una specie di riflessione nell'interno della massa liquida ».

Fu però Camillo Hajech — valente quanto modesto insegnante di fisica al liceo di Milano che ora porta il nome del Beccaria — il primo che in modo esauriente dimostrasse essere applicabili alla rifrazione del suono le leggi di quella della luce. Chiudendo in una scatola alternativamente dei campanelli di suono diversamente grave percossi mediante congegno di orologeria, od un piccolo pendolo, od un orologio da tasca, lasciava che il suono si propagasse entro un tubo prismatico. Questo — passando attraverso ad opportuna finestrella praticata nell'uscio di comunicazione — terminava nella camera vicina. Il tubo era chiuso alle estremità da diaframmi di collodio, di mica, di gomma elastica e guttapercha mescolate: essi, perpendicolari all'asse in alcune esperienze, erano, in altre, disposti — tagliando opportunamente il tubo in direzione obliqua all'asse stesso — in modo che i raggi sonori giungenti per il tubo uscissero nell'aria attraverso una parete piana incontrata sotto diverse inclinazioni. Riempito il tubo col fluido sul quale voleva sperimentare, l'Hajech cercava — e faceva anche, a controllo, cercare da persone di udito squisito e da altre di udito molto duro — la direzione nella quale il suono era avvertito con maggiore intensità.

Esp. dell'Hajech su la rifraz. del suono.

Legg. espl. — P tubo metall. del diam. int. di 77 mm. dest. a ricev. il fluido su cui si esperimentava; Q tubo sim. al prec.; R cassetta chiusa in cui stava l' istr. sonoro. Nella parte a sin. circonfer. grad. tracciata sul pavimento per individ. la direz. nella quale il suono emergeva nell'aria.

Da cotesta direzione gli era poi facile — mercè opportune circonferenze tracciate sul suolo e un filo a piombo pendente dalla parte bassa del *padiglione* dell'orecchio — determinare l'*angolo di rifrazione*. Le ricerche — estese all'idrogeno, al gas ammoniaco, all'anidride carbonica, al gas acido solforoso, all'acqua, ed all'acqua satura di cloruro di sodio — confermarono chiaramente — malgrado la loro grande difficoltà — le leggi che la teoria assegnava a cotesto fenomeno del rifrangersi del suono.

Con questi esperimenti dell'Hajech chiudiamo la corsa nel campo degli studi dell'acustica pura. Per quanto sia stata rapida, ne risulta assai evidente come nel secolo XIX si sia finito nei particolari il grande disegno che, al termine del precedente, era — con nettezza di vario grado, e con lacune — semplicemente abbozzato, e come si siano studiati in modo completo i suoni, vogliasi negli elementi intrinseci di ciascuno, vogliasi nei loro rapporti.

Tuttavia questo concetto sintetico del grande lavorio sarebbe incompleto ove non si tenessero presenti due fatti.

Anzitutto una tendenza manifestatasi nell' ultimo periodo del secolo.

Nella prima metà si era avuto di mira dal Savart e da altri lo studio del moto vibratorio, non solo per quanto spetta al suono, ma anche per le relazioni che esso ha con la elasticità considerata in sè e per sè. Nell'ultima parte invece si fu condotti a collegare cotesto studio con quello di fenomeni appartenenti agli altri ordini di fatti fisici. Così il Dvorak — 1875, *Sitzungs-*

berichte dell' Accad. di Vienna — studiava le *attrazioni e ripulsioni acustiche*, curiose alternative appunto di attrazioni e ripulsioni di un quadratello di carta o di una pallina di sughero, sospesi ad un filo di seta che metodicamente venga spostato in senso orizzontale e in quello verticale vicino al lato più stretto di una verga vibrante; Lord Rayleigh ne dava la teoria basata su considerazioni di idrodinamica, e — più recentemente, *Wiedemann*' s *Ann.* T 62, 1897 — il Lebedew si occupava di *azioni pondero-motrici* dei risuotori cavi, arrivando dall'insieme dei fatti alla conclusione della identità di coteste azioni, siano esse dovute alle vibrazioni sonore, lo siano alle elettromagnetiche, o lo siano alle idrodinamiche. Sedley-Taylor — 1879, *Journ. de Phys.* — studiava i colori delle lamine sottili quando queste sono nello stato di vibrazione provocato dai suoni, con le loro figure tanto diverse da quelle del Chladni, con le coppie di turbini ruotanti in senso contrario, con le loro curiose trasformazioni graduali sotto l'azione dei dittonghi — dalla figura corrispondente alla prima vocale a quella caratteristica della seconda —; e circa la stessa epoca — ved. il *Journal de Phys. T.* 9, serie I — il Guébhard faceva studi pure *foneidoscopici* su i bellissimi anelli colorati d'interferenza che si producono, nel velo umido dell'alito alla superficie del mercurio ben terso, per le vibrazioni determinatevi dalle vocali cantate su un tono ben sostenuto per qualche secondo.

Altra prova dell'accennata tendenza offrono i recenti lavori di Hermann Simon — *Wied. Ann.* 1897, T 63 — su l'*arco voltaico cantante* quando vicino al circuito della corrente che lo alimenta si trovi un conduttore percorso da una corrente elettrica variabile; o quelli anteriori del Bakmetieff, *Giorn. della Soc. Fis. Ch. Russa, 1885* — sui rapporti tra il suono e la magnetizzazione, e per i quali il fisico russo era portato a concludere che i suoni accompagnanti la magnetizzazione intermittente sono dovuti a mutamenti di lunghezza; o quelli del Maurain sul variare dell'altezza dei suoni dei diapason e su l'influenza che su coteste variazioni esercita la posizione relativa, per la vicinanza di potenti magneti — per l'influenza di un campo magnetico, si direbbe dai fisici —; ovvero anche quello dell'Hurmuzescu — *Compt. Rend.*, T 113 — su le vibrazioni dei fili metallici sottili percorsi da una corrente elettrica; ovvero, infine, per tacere di tanti altri, tutti quelli determinati dalla *telefonia* ed inerenti alla *radiofonia*, di cui diremo nella parte destinata alla elettricità.

L' altro punto cui dobbiamo mettere in rilievo riguarda il progresso conseguito nei mezzi di sperimentare; progresso che ha ridotto quasi ad esperienze di corso col Kundt e col Quincke la misura della velocità di propagazione del suono, con l'Helmohltz ed il Koenig l'analisi, con l'Edison la registrazione e la riproduzione del linguaggio stesso articolato. Che se della importanza di cotesto progresso si volesse un esempio in un campo che interessa assai intimamente la pratica, basterebbe ricordare che per giungere alla costruzione del suo *tonometro*, condotto a termine nel 1834 ed abbracciante la sola ottava da 440 a 880 vibrazioni — lo Scheibler — un lavorante in sete di Crefeld, appassionatissimo per l' acustica — aveva impiegato venticinque anni, mentre oggi la costruzione di un tonometro per qualunque

estensione di note rientra in quella industriale degli istrumenti di precisione: per lo stabilimento del Koenig il fornire un tonometro non è più difficile che il preparare qualsiasi altro apparecchio di misura, e poichè in Russia le campane hanno tanta diffusione che ognuna delle numerose cattedrali ne numera almeno una ventina — la sola torre di Ivan-Veliky nel Kremlino di Mosca ne conta trentuna, di cui la maggiore pesa oltre 65 tonnellate — l'Ibraileff ha potuto pensare a costruirne uno semplicemente per l'accordatura appunto delle campane.

Cotesto grande progresso non deve però far dimenticare il merito altissimo dei fisici della prima metà del secolo.

Pur sentendo tutto il pregio dei lavori moderni, quando si rimonta all'opera del Biot, del Savart, del Wertheim, del Colladon, e degli altri scienziati di quell' epoca si è naturalmente portati ad esclamare: quale grandezza!

V.

Gli strumenti Musicali.

Se per lo studio fisico del suono il progresso, nel secolo XIX, fu tale da spostarne completamente le basi, altrettanto non avvenne per quanto riguarda gl'istrumenti mercè i quali esso assurge ad espressione dell'anima nei moti più intensi e disparati, a manifestazione nobilissima di arte, e — come tale, a volte — perfino a mezzo di educazione civile.

Certo gli istrumenti da orchestra, in quel secolo, si andarono perfezionando: la famiglia di essi si arricchì, anche, di individui nuovi, per i nuovi effetti voluti da fantasia o da tecnica potenti di genio, o — forse più — da ricerca di novità — spesso studiata e tormentosa, non sempre figlia di vena feconda —: e con le risorse per la musica da orchestra crebbero quelle per gli altri generi di musica.

Ma il complesso degli strumenti era già arrivato ad un punto che si lasciava ben addietro quello cui era giunta l'acustica teorica.

Anzi per quelli ad arco non era possibile fare di meglio: la perfezione — come fu già notato — era stata raggiunta molto tempo prima che sorgesse l'alba del secolo XIX.

I tentativi dell' Ernst — direttore dei concerti del duca di Sassonia-Coburgo-Gotha — eccellente violinista e maestro nell'arte del liutaio a quel Giacomo Augusto Otto che fu tra i migliori liutai di Germania; quelli del Baur in Francia — 1810 — per un violino senza *sbarra*, dell'Haensel, ancora in Germania — 1811 — del Chanot e dell'illustre Savart — 1817-1818 — per altre mutazioni nella forma o nei particolari costruttivi, non approdarono a risultati di fama durevole più che non sia avvenuto di quelli del milanese Galbusera — 1832. — E ciò sebbene — per parlare solo degli ultimi — l' *Académie Royale des beaux arts* e l'*Académie des Sciences* a Parigi, l'*Istituto Lombardo* da noi, avessero fatto proclamazioni di superiorità per il violino del Chanot — senza *échancrures*, con le §§ tagliate parallelamente alla *tavola*, la *sbarra* posta nel mezzo di essa, l'*anima* dietro il *cavalletto*, le *tavole* di un

solo pezzo, e privo di *tasselli* — per quello del Savart — a forma trapezia, con le §§ ridotte rettilinee, le *tavole* piane — e per quello ad *échancrures* dai contorni addolciti del Galbusera; proclamazioni fatte su rapporti di commissioni in cui — come in quelle delle due Accademie parigine — entravano pure musicisti eminenti quale il Cherubini. Oggi ancora, dopo una moltitudine di tentativi — di cui gli accennati non sono se non alcuni tra i più notevoli — si può con sicurezza piena ripetere quanto — per convinzione venuta da una esperienza di venti anni — scriveva un secolo fa — nel 1804 — l'Ernst, secondo ricorda il Vidal: « la forma e la fattura del violino quali ci tramandarono i migliori liutai italiani e tedeschi, non sono suscettibili di verun miglioramento, particolarmente per quanto spetta al corpo dell'istrumento ». Si potrebbe anzi estendere l'asserzione dell'Ernst a quanto spetta al materiale con cui lo si costruisce: il legno di sandalo e quello di cedro, sperimentati come la tartaruga, la porcellana, il rame, lo zinco, l'argento medesimo, si mostrarono sempre — quale più, quale meno — inadatti.

Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

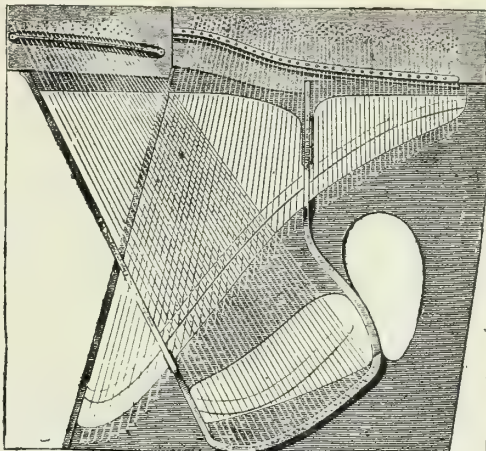
Fig. 2 e 1. — Bacchetta d'archetto da violino di F. Tourte, e costruz. grafica del Vuillaume per determinarne lo spessore nei vari punti.

Spiegaz.: *AC*, *BD* perpend. ad *AB*; *AC* = 110 mm.; *BD* = 22 mm., *AB* = 700 mm.; *Ae* tratto cilindr. diam. di 8,6 millim., lungh. 110 mm.; gli altri tratti *eg*, *gi* .... *yB* presentano un decremento successivo di 3|10 di millim. nel diametro, per cui lo spessore alla testa risulta di mm. 5,3.

Fig. 3. — Archetto a *alzo* fisso del Vuillaume.

Riprod. dalla Tav XLV del *Vidal*, *Les Instr. à Arch.* per gent. concess. della sig. V. Vidal e V. Hillemacher.

Su l'archetto, invece, non potrebbe essere passata sotto silenzio l'opera di G. B. Vuillaume. Anzitutto, studiando con molta penetrazione gli archi celeberrimi di Francesco Tourte, egli riuscì a stabilire una regola grafica per assegnarne il diametro della bacchetta nelle diverse parti. — Di più sono dovuti a lui gli archetti in metallo, che egli giunse a costruire verso il 1834, ed ebbero larga diffusione, che conservarono — continuò per anni a produrne circa un mezzo migliaio l'anno — fino a che non venne a mancare, per morte, la mano dell'operaio da lui educato a quella costruzione punto facile. Infine — e sopratutto — è dovuta al Vuillaume la invenzione dell'arco ad *alzo* fisso, che rimediava a due inconvenienti: la difficoltà del disporre i crini in modo che formino un nastro perfettamente piano, e la variabilità della lunghezza dei crini, dipendente dalla mobilità del pezzo: « l'artista — dice il Vuillaume, parlando dell'archetto ad alzo mobile — che deve tenere il pollice presso l'alzo, lo pone a distanze differenti dalla testa stessa dell'arco; il che fa variare la lunghezza — e quindi il peso — di cotesta parte dalla bacchetta, e basta per alterare la sensibilità estrema del tatto che si trasmette, in certa guisa, dalla mano dell'artista alla estremità dell'archetto ».

Perfezionamenti degni di nota ebbe il pianoforte; nel cui numero non metteremo di certo l'averlo ridotto anche *meccanico* — o, come si direbbe meglio, automatico — come si ideò al principio del secolo in Germania, e come ottenne primo con risultati buoni il Debain nel 1854. Nè daremo una grande importanza — per quanto ne abbia dal punto di vista di quella economia di spazio e, più, di costo che ha tanto contribuito a rendere grande la diffusione del pianoforte — alla invenzione ideata dal Bulmer — operaio della Casa Erard — realizzata poi dal Roller — 1827 — e mercè la quale il pianoforte, oltre ai tipi *a coda* ed *a tavolo* — con le corde parallele alla tastiera — assunse anche quello detto *verticale*.

Corde incrociate di un pianoforte verticale dello Steinway.

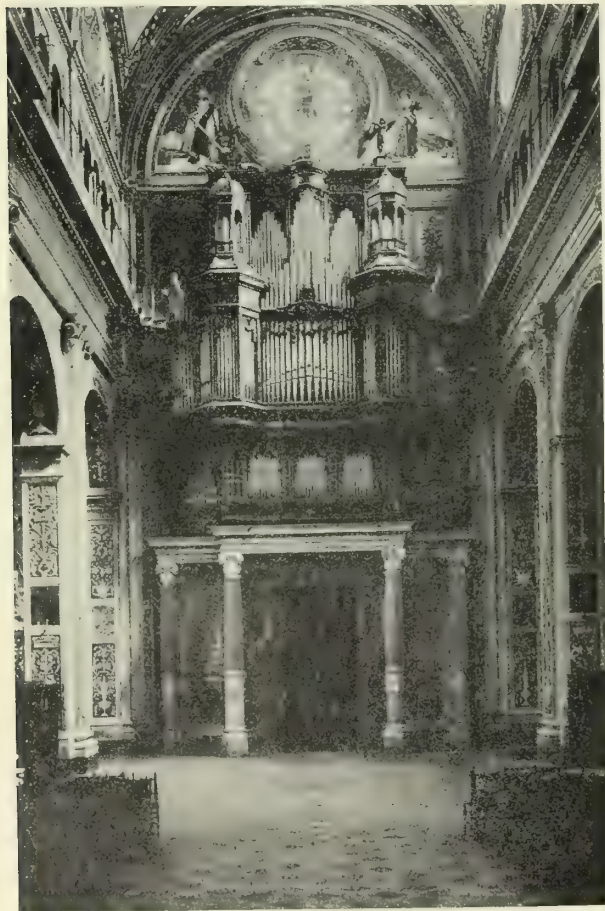
Ricorderemo piuttosto lo sviluppo della tastiera: da cinque ottave e mezza, quale era alla fine del secolo XVIII, raggiunse per gradi l'attuale — comunemente di sette. —

Menzioneremo poi il *doppio scappamento* ideato da Sebastiano Erard nel 1822 ed applicato la prima volta in un grande pianoforte — rimasto celebre nella storia degli istrumenti musicali — alla cui costruzione — terminata a Londra nel 1829 — si consacrò Pietro Erard, nipote di Sebastiano. Menzioneremo il meccanismo *a doppia percussione* del Wolff — direttore della Casa Pleyel —; poi ancora ricorderemo come perfezionamenti nei piccoli particolari — dei quali ci è impossibile anche una semplice enumerazione — siano stati portati da una moltitudine di costruttori, quali gli Erard, i Pleyel, il Wolff, già nominati, il Bechstein, lo Steinway, il Broadwood, ed altri, i cui nomi sono ben famigliari a tutti i cultori della musica. Certo è che il pianoforte per la solidità della costruzione in tutte le sue parti — se ne cita uno del Broadwood che potè servire a 460 concerti, richiedendo una volta sola il cambio di una corda — per la sonorità — resa grandissima mercè le corde *sovrapposte* od *incrociate* di cui va dato il merito agli americani, segnatamente allo Steinway, — per la delicatezza dei suoni che se ne possono trarre e per la eleganza nelle forme e nella decorazione, è divenuto un istrumento per il quale i perfezionamenti ulteriori non potranno essere se non di ben piccolo momento, al paragone di quelli operati nel secolo scorso.

La *leva* del Barker.

Legg. espl.: — *h* leva che si abbassa all'abbassarsi di un tasto, e, vincendo la resist. di molle antagoniste interposte, chiude l'apertura *n*: l'aria, non potendo più sfuggire per *n*, fa gonfiare il manticetto *l*, la cui parete inferiore comanda il meccanismo di trasmissione al *pancone* ed alle canne. Se il tasto si solleva, per l'az. delle molle antag. *n* si riapre e *l* si sgonfia rimettendo nella pos. di rip. il mecc. di trasmissione.

Accenneremo di passaggio ai pianoforti *ottavianti*, — 1805 — attribuiti

a Filippo de Girard e che danno, ove la si voglia, l' ottava della nota toccata, ed a quelli *tremolofoni*, attribuiti allo stesso, perfezionati verso il 1835 dal Pape, e che devono il loro nome alla possibilità di ottenere il *tremolo* con la semplice pressione delle dita esercitata al modo ordinario; a quelli *a suono sostenuto*, costruiti primamente, pare, nel 1835 dai Boisselot di Marsiglia, ed ai *pianos scandés* — di Lenz e Houdard di Parigi — destinati ad ottenere simultaneamente per le diverse parti della tastiera i più disparati effetti di colorito.

Uno degli organi cost. l'Organo Triplice elettrico della Ch. dell'*Immacolata* a Genova

Uno degli organi — quello rapp. dalla fig. — è sopra la porta princ. della Ch.: gli altri due sono coll. lat. all'Altare Magg. L'org. magg. è a 45 metri di dist. dalle cinque tastiere manuali. I tre organi comprend. rispettiv. 30, 17 e 13 registri.

Nè ci fermeremo ad enumerare i diversi tipi di pianoforti *stenografi*: l'idea di un istrumento che scrivesse la musica man mano che il compositore l' andava improvvisando, realizzata originariamente dal tedesco Hohlfield nella seconda metà del secolo XVIII tentò molti d'ogni paese nel secolo XIX, ma non potè mai entrare nell'uso pratico. Nemmeno ci occuperemo dell' *adiafono* — ideato dal tedesco Fisher — simile al pianoforte, ma in cui alla corda è sostituito un diapason, ottenendosi così prolungamento e purezza del suono, costanza assoluta di accordatura; vantaggi, cotesti, che parvero, per un momento, poter rendere l' istrumento adatto all' insegnamento ed all'accompagnamento del canto, ma che non compensano affatto la scarsità nella robustezza del suono.

Passiamo piuttosto ad altri istrumenti. Su l'arpa vuole essere rammentata la invenzione di Sebastiano Erard — 1810 — dell'arpa *a doppio movimento*, nella quale, duplicando il movimento di ogni pedale, ciascuna corda può dare, oltre che la nota caratteristica di essa, il diesis ed il bemolle della nota stessa: con ciò sono possibili e il suonare in tutti i toni e — con l'accordare all'unisono due corde — il produrre quelle note doppie che gli arpisti chiamano *sinonimi*.

All'organo nel 1811 il Charles, nel suo rapporto su l'*organo espressivo*, rimproverava che non si prestasse « *à ces inflexions sans les quelles il n'y a point de sensibilité dans les instruments ni de touchantes émotions autour d'eux* ». Ma esso aveva altri difetti gravi, primo tra tutti la durezza enorme delle

tastiere; una durezza che le *valvole doppie* dell'Hill — applicate all' organo di Birmingham — e le *isopneume* dell' Orelle non avevano fatto scomparire. La tolse, mediante la *leva* che ne porta il nome, l' inglese Carlo Spackman Barker — n. nel 1806 a Bath — ingegno singolare che agli studi di medicina accoppiava una grande passione per la meccanica. La macchina Barker — applicata per la prima volta nel 1834 all'organo di St. Denis a Parigi da Aristide Cavaillé-Coll, il principe dei costruttori d' organo del secolo XIX — « consiste, diremo col Couwenbergh, in una serie di piccoli mantici in numero uguale a quello dei tasti: ogni manticetto è munito di due valvole, di cui una riceve il vento, l'altra lo lascia sfuggire. Il manticetto, gonfiandosi, solleva da solo tutto il peso soprastante, e fa per tale modo scomparire la durezza delle tastiere che si opponeva alla libertà del giuoco ed esigeva una grande forza muscolare nelle dita dell'organista ».

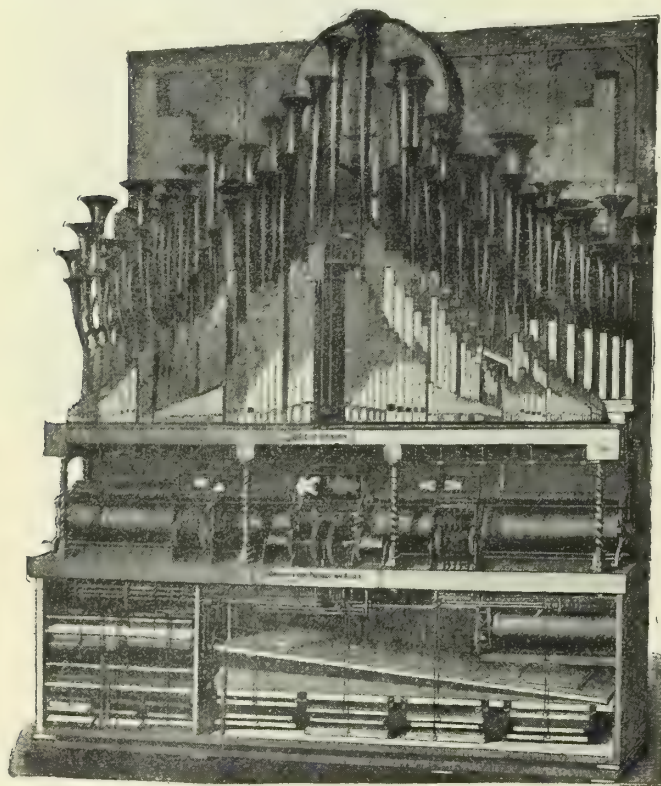
L'organo della Cattedrale di Lucerna.
Costr. nel 1650 da un organaro di Salzburg: rifatto — da Haas di Kleinlaufenburg in Baviera — quasi completamente nel per. 1859-62 e migl. anc. nel 1900. Conta 69 reg. con 4131 canne, di cui 999 di legno, 3132 di metallo.

Altro grave difetto avevano i mantici, sebbene fossero già stati migliorati di molto dalla invenzione di quelli a lanterna ed a serbatoio. Avveniva in questi che le pieghe, agglomerandosi all'interno man mano che dal mantice andava sfuggendo l'aria, diminuivano la capacità ed esercitavano una certa pressione su l' aria ancora contenuta. Vi pose rimedio il Cummins, orologiaio inglese, con uno spediente che giustamente fu paragonato a quello dell' « uovo di Colombo ». Il Cummins invertì le pieghe, disponendole in modo che alcune avessero a rientrare ed altre ad uscire, compensandosi, per siffatto modo, mutuamente.

Ad un terzo difetto — la complicazione dei congegni meccanici colleganti la tastiera con il *pancone* o somiere — si cercò rimedio con la invenzione degli organi a sistema *pneumatico*, o sistema Fermis, consistente nell'uso dell'aria compressa — racchiusa in tubi di rame o di piombo — per operare quella trasmissione di movimenti che, col sistema detto per antonomasia meccanico, richiede invece una selva di pezzi a squadra, di pezzi a bilico, di curri, di verghette, di fili, che costituiscono un assieme ingombrante, delicatissimo, soggetto a mille cause di guasto.

Ed a quel difetto ed insieme all'inconveniente del doversi fare della tastiera e dell'organo propriamente detto quasi un corpo solo si pensò di ovviare con l'impiego della corrente elettrica, mediante la quale — senza dire che la manovra dei mantici può essere affidata a motori di funzionamento regolarissimo — l'apertura delle valvole destinate a permettere che l'aria faccia cantare la canna non richiede alcunchè di più dell'attivare una elettrocalamita;

disposizione e funzionamento di cui possono dare l'idea quelli mercè i quali facciamo agire a distanza una soneria col premere il cilindretto di un interruttore collegato ad essa semplicemente col mezzo di due fili.

E poichè gli organi elettrici acquistarono sul finire del secolo — ed andranno indubbiamente acquistando semprepiù in avvenire — vera importanza e grande diffusione, sarà il caso di ricordare come il primo tentativo di essi sia dovuto ad un organaro ungherese — di Kaschau — del quale però il Wangemann che dà la notizia nel suo *Geschichte der Orgeln* non registra il nome. Certo pure è che nel 1852 e nel 1863 furono brevettati organi elettrici dal dr. Gaunslett di Londra e dal francese Goundry, e che nel 1866 il Barker costruì un organo elettrico per la chiesa di St. Augustin di Parigi e ne presentò uno alla grande esposizione del 1867. Sono codesti i principî dell'organo elettrico. Che se il Sauer, costruttore di Francoforte su l'Oder, trovò dei difetti nell' organo del Barker, ed il Wangemann non si mostrò più benevolo verso quello esposto a Vienna nel 1873 dal Weigel di Stoccarda, negli anni successivi — ovviatosi agli inconvenienti inevitabili nei primordi — la costruzione degli organi elettrici prese il suo posto — molto importante — nell'industria, ed anche l'Italia ebbe, in quello triplice della Chiesa della Immacolata a Genova — costruito dal Trice — ed in altri dappoi, degli eccellenti istrumenti.

Organo automatico

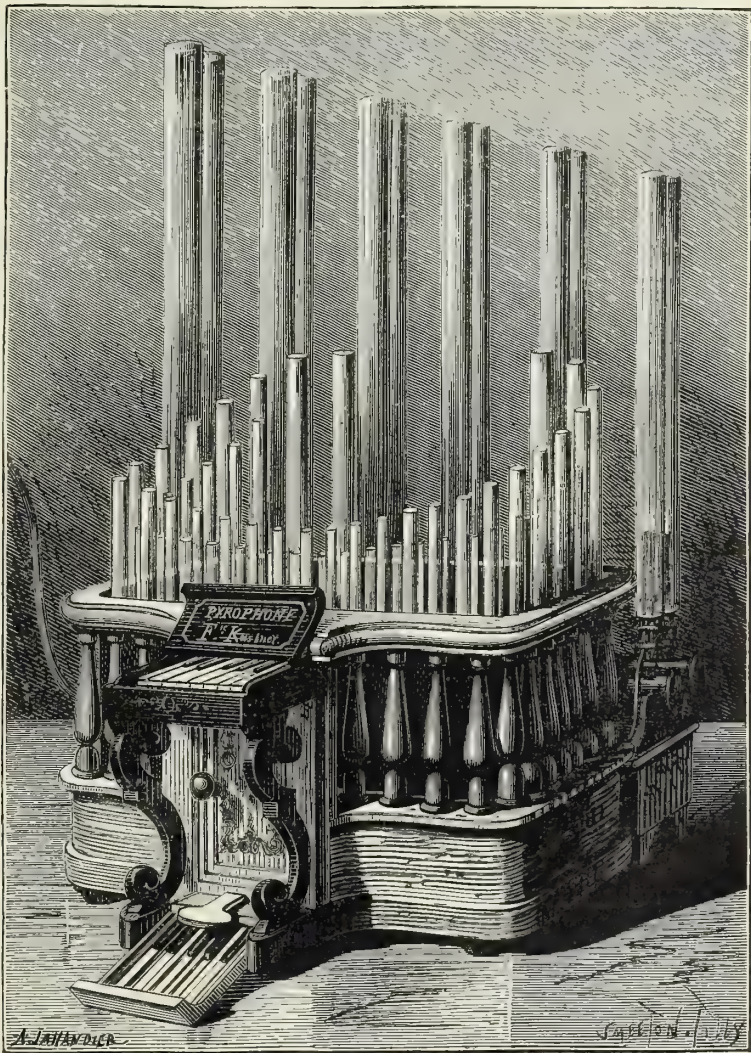
In coteste innovazioni — le maggiori — non si esaurirono — lo si comprende — la intelligenza e l'attività degli organari del secolo scorso. L'opera loro paziente si diresse costantemente ed universalmente a miglioramenti nei particolari relativi ai mantici, alle canne, ai meccanismi, ai modi — in una parola — ed ai materiali di costruzione.

Onde, il secolo scorso vide costruiti si può ben dire a decine di migliaia degli istrumenti che sono veramente meravigliosi. Sia concesso ricordare ad esempio quell'organo colossale — l'*Appolinicon* — che il Flicht e il Robson costruivano per Londra — ridotto ora irriconoscibile — e che aveva destato l'ammirazione durante la prima metà del secolo con gli effetti che se ne potevano trarre mediante i sistemi di tasti disposti in modo da permettere a sei organisti di suonare contemporaneamente; e con esso, oltre alla serie

interminabile di quelli dei Cavaillé-Coll sparsi per tutto il mondo e tra cui celeberrimi i grandi organi della *Madeleine*, di *St. Denis* e del *Trocadero* a Parigi, i famosi strumenti di Friburgo e di Lucerna, i cui concerti quotidiani, con i loro effetti svariatissimi e stupefacenti di splendide voci bianche, di temporale e di pioggia cadente, di ripieno e di armonie di ogni sorta, hanno contribuito e contribuiscono a renderli apprezzati da un numero assai grande di persone di ogni paese.

Che se si volesse avere un'idea di quel che sono per grandiosità alcuni dei grandi organi moderni, ricorderemmo quelli delle Sale dei Concerti di Boston nel Massachussets e di Cincinnati costruiti l'uno dal Walcker nel 1863 l'altro nel 1878 da Hook e Hastings di Boston, e che hanno 5353 e 6237 canne rispettivamente; quello costruito nel 1852 dal Willis per la S. George's Hall di Liverpool che conta 100 giuochi completi e costò oltre 10000 sterline, e quello di 8000 canne fornito dalla Casa Elliott e Hill di Londra alla bella Cattedrale di New-York; ricorderemmo sopratutto quello terminato nel 1888 che la città di Sidney in Australia fece costruire dall' Hill di Londra e che conta 128 giuochi e 9127 canne, e l'altro del Gruneberg di Stettino che si trova a Libau in Curlandia e che conta l' enorme numero di 131 giuochi.

Il *Pirofono* del Kastner.

Quanto ai tentativi per rendere espressivo l'organo, che noi lasciammo con quello del Moreau (1), ripresi inutilmente nel 1803 dai fratelli Girard di Parigi — i quali usavano un regolatore del vento nella canna, regolatore che agiva nello stesso tempo su un pezzo a *coulisse* destinato ad allungare ed accorciare la canna stessa — e nel 1811 dal Greniè — che impiegava dei giuochi ad ancia libera fissati entro nuclei

(1) Pag. 85 di questo lavoro.

speciali e racchiusi nel piede del tubo al modo dei giuochi d' ancia consueti — sortirono il risultato musicalmente migliore con Sebastiano Erard nell'organo da lui costruito nel 1830 per la Cappella delle Tuileries, nel quale era un giuoco di ancie libere che si rendeva espressivo col semplice abbassamento del tasto. Il sistema che si usa, è ancora tuttavia — a motivo della sicurezza che offre per la emissione dei suoni — l'antico, applicato dal Vogler nell'organo del Pantheon a Londra e consistente nel chiudere un certo numero di giuochi in una camera o scatola che si chiama l'*espressivo* e che può aprirsi più o meno mediante delle pareti mobili.

Il flauto del Böhm e il clarinetto.

La decadenza verificatasi al principio del secolo XIX nell'arte del suonare l'organo fece pensare a sostituire l'organista con un meccanismo, e già nel 1805 Maelzel di Ratisbona faceva udire, a Vienna, il suo *panharmonicon*, e verso il 1815 Davrainville « costruiva, dice il Couwenbergh, i deliziosi istrumenti a manovella che possono dare tutta la delicatezza d'esecuzione di cui è suscettibile un artista provetto ». Il Winkel di Amsterdam — 1821 — andava più in là col *componio*, che, oltre al rendere gli effetti del *panharmonicon*, improvvisava su un tema dato delle variazioni « sempre nuove e sempre corrette »; quelle variazioni, che formavano allora e formarono per molto tempo ancora dippoi, la delizia del pubblico; e nello stesso ordine di idee il Cabias nel 1825 ideava un istrumento che si adattava alla tastiera stessa dell'organo e di cui i contemporanei forse dissero bene, ma qualcuno dei posteri positivamente scrisse molto male, cosicchè l' Hamel nel suo pregevole *Facteur d'Orgues*, lo dice un'invenzione « *digne en tout des siècles de barbarie* » e non ne parla se non perchè « *les aberrations de l'esprit doivent aussi trouver place dans l'histoire de l'art auquel ils ont trait* ».

Di tutta cotesta famiglia d' istrumenti — è noto — sono rimasti con una certa diffusione — che va però decrescendo — i piccoli organi a manovella, ed hanno molta voga quelli grandi a cilindro del tipo orchestrion, che in alcuni luoghi — Mosca informi — costituiscono una parte indispensabile dell'arredamento dei saloni da caffè e da ristorante.

Accenneremo infine al curioso *pirofono* del Kastner, un vero organo, di cui le canne sono fatte cantare mediante fiammelle a gas rese operative da pressione di tasti, e dal quale si hanno, a quanto dice il Rambosson, « *des sons inconnus jusque à ce jour, imitant les voix humaines avec un timbre mystique, et susceptible de produire dans la musique religieuse les effets les plus merveilleux* ».

Passando ora agli altri istrumenti a vento di cui ci occupammo per segnarne lo stato al principio del secolo XIX, noteremo tosto la grande innovazione del Böhm che — in un certo senso, si può dire — ha dato il *flauto* alla musica. Egli, per il primo, praticò nel flauto un sistema razionale di

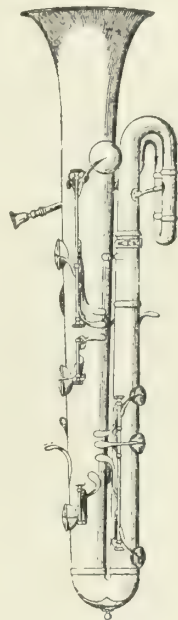
fori, collocati nei punti indicati dalla teoria per la formazione delle diverse note, non preoccupandosi — e giustamente — della facilità della diteggiatura: alla quale provvide poi egli stesso con un sistema di chiavi e di anelli — applicazione facile, quest'ultima, di una disposizione di anelli ideata dal capitano inglese Gordon —; sistema che porta appunto il nome del Böhm e che — mentre permette al suonatore una disposizione comoda delle dita — consente l'aprire e il chiudere quei fori che non sono alla loro portata diretta. Il flauto del Böhm — che determinò una vera rivoluzione nella costruzione dell'interessante e vecchio istrumento — rese possibili ed intonati i trilli sopra tutta la estensione dell'istrumento e il sonare su qualunque tono. È però a notarsi che alcuni suonatori rimproveravano al flauto del Böhm qualche difetto. Osserva il Gandolfi che « il nuovo istrumento non poteva dirsi veramente tagliato in *re*, giacchè alzando le sei dita non offriva all'esecutore una scala in alcun tono, e nel maneggio, tanto nella seconda quanto nella terza ottava, si presentavano vari movimenti contrari ». A portare rimedio a questi inconvenienti provvide il Briccialdi col suo flauto — fatto di due pezzi — con due grandi fori che ordinariamente rimangono aperti e con un sistema di chiavi ed anelli analogo a quelli del Gordon e del Böhm.

L'oficleide.

Il *clarinetto* ebbe da Ivan Müller — nel 1812 — quel sistema di chiavi razionale quanto a posizione e facilità di maneggio, che si potrebbe dire è tutt'oggi adottato universalmente, se non avesse qualche diffusione il clarinetto del francese Buffet, che applicò — 1843 — a cotesto istrumento il sistema di chiavi ed anelli del Gordon e del Böhm, portando però con ciò una complicazione di maneggio per la quale il nuovo sistema non incontrò se non un favore assai limitato.

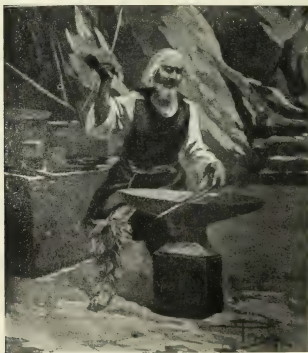
Anche per il *corno* il principio del secolo XIX fu epoca di importanza capitale per opera dello Stölzel, cornista della cappella di Berlino, il quale applicava un sistema brevettato nel 1813 del Blühmel — consistente nel far variare la lunghezza della colonna d'aria mediante tubi di prolungamento fissi all'istrumento — e poneva sopra la pompa del corno due pistoni — portati in seguito a tre — ottenendo così di togliere la disuguaglianza dei suoni che faceva tanto imperfetto il corno. Con la quale innovazione, va pure ricordata la invenzione del Riedl di Vienna — 1829 — dei pistoni doppi — rendendo più libera la circolazione dell'aria — ai quali aveva applicato delle leve analoghe ai pedali dell'arpa; congegno — non universalmente — sostituito poi — ad ottenere un movimento più spedito — da un meccanismo a cilindri o rotelle.

A la *tromba* — tra il 1801 e il 1803 — il Weidinger aveva portato un miglioramento creando il tipo *a chiavi*, o *chiavette*.

Ma nè essa, nè il *bugle-horn* — a sei chiavi — dall'inglese Halliday, nè un meccanismo immaginato dal Legrain — un capo-musica dell'esercito francese — inteso ad ottenere tutti i semitoni mediante un incastro a molle movibile col pollice della mano destra — rappresentarono l'ultima parola.

Questa si ebbe con l'applicazione dei pistoni doppi del Riedl, e dei cilindri, o rotelle, applicazione venuta dopo quella dei pistoni semplici del Blühmel e dello Stölzel. Questi dallo Iahn erano stati applicati pure al *trombone*, nel quale vennero poi sostituiti da quegli stessi meccanismi cui già si accennò a proposito del corno e della tromba. Sul trombone vale però la pena di notare che il tipo a tiro — di cui si parlò a pag. 88 — è rimasto ancora all'estero ed è anzi il solo adoperato in Germania nelle orchestre — usandovisi quello a pistoni, o a cilindri, o a rotelle unicamente nelle fanfare e nelle bande.

Ricorderemo qui alcuni istrumenti nuovi del tipo del trombone: quelli del Sax — 1852 — *a sei pistoni*, il *bimbonifono* — del Bimboni, 1850 — l'*oficleide* — inventata al principio del secolo, pare, nell'Annover — e il *basso tuba* — inventato dal Wieprecht nel 1840 — che nelle orchestre di Germania sostituisce l'oficleide.

Non possiamo insistere oltre in cotesta rassegna, nella quale — ove non fosse dovuta tenersi tanto rapida — avrebbero dovuto figurare molti altri istrumenti.

Dobbiamo tuttavia ricordare come si siano nel secolo XIX rimessi in uso, od introdotti nella musica da teatro, dei tipi o abbandonati od affatto nuovi per la forma o per la destinazione, i quali costituiscono una serie — in alcuni casi destinata a scopi molto speciali — delle più svariate — dalle trombe di cui si valse il Verdi per la marcia dell'Aida, alle *campane tubulari* ed al martello con l'incudine, usati dal Wagner nell'*Oro del Reno* ad indicare il lavoro dei Nibelungi, e nel principio del *Sigfrido* quando Mime lavora intorno alla spada prodigiosa.

Sigfrido: Scena I.

Il pirometro di S'Gravesande.
Ripr. della fig. 1, Tav. LXXVII, Tomo II, dell'op. di S'Grav. *Physices Elementa Mathematica Experimentis confirmata*, Leidae, 1748.

LA TERMOLOGIA.

I.

Avanti il secolo XIX.

Quali fossero le idee sul calore quando spuntava l'alba del secolo XIX si ebbe già occasione di esporre, e fu segnalato come il XVIII si chiudesse con quelle memorande esperienze del Davy e del Rumford che davano un colpo ben fiero alla opinione della materialità del calore.

Onde, notato solo che ancora nella seconda metà del secolo XVIII si pensavano e scrivevano le cose le più strane pure in argomenti abbastanza ovvî e da uomini di non dubbio valore — basterebbe ricordare quanto scriveva lo stesso De Luc per interpretare esperienze del Priestley, del Parcker, del Gardener e spiegare il modo col quale i raggi del sole rinnovano il calore sul nostro globo — non faremo se non che riassumere molto succintamente la parte sperimentale di quel periodo di preparazione, non molto lungo a dir vero, ma importante assai: è un periodo che eccita vivo interesse. Suscita pure vera ammirazione, quando appena si ricordi come tutto tutto si fosse dovuto creare, in fatto di dati sperimentali sul calore. Si era dovuto cominciare, non solo dal termometro, ma dalla idea stessa della necessità di tenere conto comecchessia dell' elemento che noi chiamiamo temperatura; un elemento, senza del quale noi non sapremmo nemmeno concepire la possibilità di uno studio della Natura: ancora nei *Saggi di Naturali Esperienze fatte nell'Accademia del Cimento* si trovava bisogno di spendere parole per dimostrare come fosse « utilissima cosa, anzi necessaria nell'uso delle naturali esperienze l'avere esatta notizia de' mutamenti dell' aria », tra cui si ponevano pure quelli della « varia tempera ch'ell'à dal Sole e dall'ombra, dal caldo o dal freddo ».

Relativamente al termometro, ci guarderemo dal discutere sul punto se debbano considerarsene come inventori Roberto Fludd di Milgade, o il Van Helmont, o Francesco Bacone signore di Verulamio, ovvero Cornelio Drebbel di Alkmaar, o Santoro Santorio di Capo d'Istria, o Paolo Sarpi od il Galilei. Ricorderemo solo che, se il Viviani — *Vita del Galileo* — scriveva che « fin dal 1596 trovato aveva Galileo strumenti di vetro con acqua ed aria per distinguere le mutazioni di caldo e di freddo, la varietà dei temperamenti e

dei luoghi »; dopo lo studio fatto da Raffaello Caverni — *Storia del Metodo Sperimentale in Italia*, Firenze 1891, Vol. I, cap. II, pag. 266 a 290 — non è più lecito aggiustar fede a coteste parole del Viviani, e si ha a ritenere come inventore del termometro il medico di Capo d'Istria. Del termometro fino dal 1613 servivasi pure il Sagredo per istituire in Venezia esperienze meteorologiche, delle quali scriveva al Galileo nel medesimo anno. Il termometro del Santorio, del Sagredo, come quello del Galilei, era ad aria, e costituito da un tubo di vetro terminante in alto con una piccola cavità sferica, aperto in basso ed ivi pescante in un vasetto contenente acqua: un indice liquido, salendo nel cannello più o meno secondo il volume dell'aria contenuta nella rimanente parte di questo e nella pallina, indicava, secondo quei fisici — a cui non erano noti i fatti della pressione atmosferica e delle influenze relative sul maggiore o minor volume dell'aria racchiusa — la maggiore o minore temperatura. È veramente meritevole di nota come essi avessero scelto quale corpo termometrico non un liquido, ma l'aria, a cui dovevano poi ricorrere — oltre due secoli dopo — il Dulong, il Petit, il Regnault e tanti altri fisici per ottenere delle misure di precisione. Su la quale scelta dell'aria come corpo termometrico varrà la pena di notare come fosse originata da una esperienza di Erone Alessandrino, dalla quale il Santorio prese l'idea dello strumento — Caverni, *l. c.* —

C

B

A

L'antico termometro ad aria.

Quando — 1643 — con quella esperienza rimasta meritamente celebre, e la cui importanza appariva ancora un secolo dopo sì grande che il Bose, professore all'università di Vittemberga, la riputava degna di una commemorazione centenaria, la quale infatti seguì nel maggio 1743 a quella università — il Torricelli ebbe chiarito quali effetti potesse produrre la pressione dell'atmosfera, gli Accademici del Cimento pensarono di ridurre normalmente il termometro al tipo attuale, impiegandovi l'acquarzente — alcole — quale corpo termometrico, giusta quanto aveva fatto — per primo — Ferdinando II, granduca di Toscana — o, forse, il Torricelli stesso, secondo opina il Caverni — vivente ancora il Galilei — 1641. — Il Becker — pare — propose — ed il Römer, si dice, adottò — l'uso del mercurio (1); il Newton (2) — 1701 — ne costruì con olio di lino. Ed a titolo di curiosità ricorderemo il termometro *a burro* del Réaumur, ideato « à fin que les paysans — dice il Saverien — puissent construire un *Thermomètre* bon pour cet usage dans tous le tems ».

(1) Una comunicazione interessante fu fatta nel 1895 per mezzo del Mascart dall'ab. Maze all'*Acad. des Sc.* — C. R T CXX, I sem., pagine 731-732 —. Egli ha scoperto, nel *Recueil des documents astronomiques* posseduto dall'Osservatorio di Parigi, un fascicolo col titolo *Ad Thermometrum observationes anno 1658 Parisiis* col sottotitolo: *Thermometrum Florentiae fabricatum*. Risulta da esso che l'osservatore — abate Bouilleau — avrebbe usato con uno ad alcole, un termometro a mercurio.

La cosa è degna di nota perchè ancora nel 1700 il Geoffroy presentava all' Ac. delle Scienze un termometro ad aria avente il difetto dei primi d'essere falsato nelle sue indicazioni dalla pressione atmosferica, e pressochè alla stessa epoca l'Halley — *Phil. Trans.* T. XVII. febbr. 169^2/$_3$ pag. 650 — cominciava a notare che il mercurio per la sua grande dilatabilità era preferibile ai liquidi che si congelano « nei climi settentrionali ».

(2) Abbiamo riportato l'opinione che il termometro ad olio di lino del 1701 sia del Newton. In realtà è a notarsi che la memoria in cui se ne parla — *Scala graduum caloris*, in *Phil. Trans.* T XXII N. 270, marzo ed aprile 1701, pag. 824 — non ha indicazione di autore ed il nome del Newton — salvo che per qualche dedica — non si trova nella *Phil. Trans.* per tutto il periodo dal 1690 al 1712, se non per il riassunto che vi è dato di una parte del suo grande lavoro *Phil. Nat. Princip. Math.*

Di quei termometri dei secoli XVII e XVIII erano pure svariatissime le scale — il che rende enormemente difficile in alcuni casi il rendersi conto dei risultati a cui erano giunti i fisici nei loro esperimenti — come si rileva dalle singole monografie, dai trattati, od anche da lavori riassuntivi, quale quello storicamente importante del Cavendish — *Phil. Transact.* a. 1757, Vol. L, parte I, pag. 300 — « A description of some Thermometers for particular uses ». Era una vera anarchia; il Saverien, nella sua tavola di confronto delle diverse graduazioni — pubblicata nel 1753 — ne riporta nientemeno che sedici, e — malgrado la sua recisa asserzione in contrario — non è completo. Di tutte quelle scale — è notorio — rimasero solo quella del Fahrenheit — non inglese, come molti credono, ma di Danzica — proposta nel 1714 e di cui le *Philosophical Transactions* del 1724 fanno conoscere il modo tenuto per eseguirla; quella del De Luc — comunemente oggi ancora attribuita al Réaumur, sebbene fino dai suoi tempi il De Luc non avesse risparmiato, anche con una certa vivacità, i fisici che cadevano in siffatto errore (1); — e finalmente — 1742 — la *centesimale*, dell'astronomo svedese Andrea Celsius, se pure essa non è da attribuirsi a Linneo, come farebbe credere un brano citato dall'Arago — pag. 608, T. VIII, *Oeuvres Complètes,* Paris, Gide 1858, — di una lettera del grande naturalista svedese, nella quale egli — in un latino la cui facilità ci dispensa dal tradurlo — dice: « *ego primus fui qui parare costitui thermometro nostro ubi punctum congelationis* o *et gradus coquentis aquae* 100; *et hoc pro hybernaculis horti* ».

Termometro degli *Accademici del Cimento*: esemplare esist. al R. Liceo C. Beccaria in Milano, al quale fu donato nel 1841 da Leopoldo II, granduca di Toscana. Le perline nere e bianche sul cannello segnano i gradi. Il sopporto è moderno.

Tra le scale tramontate durante il secolo XVIII merita menzione speciale quella relativa al termometro ad olio di lino precedentemente accennato. E poichè su di essa e sui criterî con cui venne stabilita corrono inesattezze, attesa l'importanza che essa ha nella storia della scienza stimiamo utile riprodurne integralmente la leggenda, traducendola testualmente dalla monografia *Scala graduum caloris* già — p. 162, nota (2) — ricordata.

(1) È curioso come il De-la-Condamine fosse stato profeta nel predire al De Luc che gli sarebbe toccata cotesta ingiustizia. « Lorsque — dice il De-Luc — j'eus fixé cette Echelle, par des motifs très-déterminés, et constaté les Marches correspondantes de ce Thermomètre et de celui de M. De Réaumur; marches très-differentes; feu M. De la Condamine, à qui je communiquai mon Ouvrage en Manuscript, fut d'avis, que je changeasse le nombre 80; m'assurant qu'il feroit un piège, vu l'inattention si commune parmi ceux même qui professent la Physique. Je ne connoissais pas encore aussi bien que lui cette inattention et je donnai plus de poids à deux considérations; l'une que j'exprimai, l'autre une Modestie deplacée. J'y ai regret maintenant que j'ai vu par l'Expérience, combien la prediction de M. De La Condamine étoit fondée ». *Idées sur la Météorologie, Vol. I, pag. 37,* Londres, T. Spilsbury, *1786.*

« Descrizioni e manifestazioni dei calori ».
(*N. B. La parola calore è usata per temperatura*).

		Ca ore dell'aria nell'inverno, al quale comincia il gelare. Si determina questo col porre accur il termom. in neve compressa quando si scioglie dal gelo.
0,1,2		Calori dell'aria nell'inverno.
2,3,4		Calori dell'aria in primav. ed aut.
4,5,6		Calori dell'aria estiva.
6		Cal. dell'ar. al mezzodì intorno al mese di Luglio.
12		Calore mass. che il term. assume al cont. col corpo umano. Esso è all'in circa quello di un uccello covante le uova.
14 3/11	1 1/4	Calore quasi massimo di un bagno che si può tollerare a lungo con la mano imm. e cost. agit. Uguale quasi è il calore del sangue appena sgorgato
17	1 1/2	Calore mass. di un bagno sopportabile dalla mano imm e manten immob. a lungo.
20 2/11	1 3/4	Calore di un bagno, nel quale versando cera galleggiante e fusa si rapprende e perde la trasparenza.
24	2	Cal. di un bagno nel quale la cera galleg. col riscaldam. fonde e si mantiene fusa senza ebo.liz.
28 6/11	2 1/4	Cal interm. tra quelli della fus. della cera e dell'acqua boll.
34	2 1/2	Calore al quale l'ac. bolle violent. e raffreddandosi si rapprende una misc. di due parti di piombo, tre di stagno e cinque di bismuto. Comincia l'acqua a boll. a 33 parti di cal., e assume presto nel bollire più che 34 1/2 Un ferro raffreddantesi, sul quale vada a goccie dell'acqua, cessa dall'eccitare l'ebollizione a 35 o 36 parti di calore per acqua calda ed a 37 per fredda.
40 4/11	2 3/4	Minimo cal. al quale riscaldandola fonde e si conserva liq. una misc. di una p di piombo, quattro di stagno e cinque di bismuto
48	3	Minimo cal. al quale fonde una misc. da parte ug. di stagno e di bismuto Questa misc. raffreddandosi al cal. di di 47 p. si rapprende.
57	3 1/4	Cal. al quale si fonde una misc. di due p. di stagno ed una di bism, come pure una di tre p. di stagno e due di piombo; ma una misc. di cinque p. di stagno e due di bism raf. a questo calore si rapprende. E lo stesso avv. di una misc. di parti ug. di piombo e bismuto.
68	3 1/2	Min cal. al quale fonde una misc. di una parte di bism ed otto di stagno. Lo stagno solo fonde a 72 p. di cal. e raffreddandosi si solidif. a 70.
81	3 3/4	Cal. al quale fonde il bismuto, come pure una misc. di quattro parti di piombo ed uno di stagno. Però una misc. di cinque p. di piombo e una di stagno prec. fusa e raffreddantesi a questo calore si solidifica
96	4	Min. cal. al quale fonde il piombo. Il piombo riscaldandosi fonde al cal. di 96 o 97 e raffreddandosi si solidif. al cal. di 95 parti.
114	4 1/4	Calore al quale i corpi infocati nel raffreddarsi quasi cessano di apparire nelle tenebre della notte, e viceversa nel riscaldamento cominciano appena nelle stesse tenebre a mostrarsi con la più tenue luce che si possa distinguere. A questo calore fonde una misc. in p. ug di stagno e di *regolo marziale* (antimonio ridotto col ferro?); ed una di sette di bism. e quattro dello stesso *regolo* raffreddandosi si solidifica
136	4 1/2	Calore al quale i corpi infocati rosseggiano nelle tenebre della notte, non mai però nel crepuscolo. A questo calore tanto una misc di due p. di *regolo marziale* ed una di bism., quanto una di cinque di *regolo* e di una di stagno, raffreddandosi si solidifica Il *regolo* per sé stesso si solidific. al cal. di 146 parti.
161	4 3/4	Calore al quale i corpi infocati spiccatamente rosseggiano nel crepuscolo prossimo sia al sorgere che al tramontare del sole, non però, se non che molto foscamente, alla luce piena del giorno.
192	5	Calore delle braci di carbon fossile bituminoso bruciato in un caminetto da cucina e ardenti senza azione di soffietti. Uguale è il calore del ferro arroventato quanto è possibile in un simile fuoco. Un po' maggiore, cioè di 200 o 210 parti, è il fuoco fatto in un caminetto con legna. Ed ancora maggio e è il calore di un gran fuoco specialmente se alimentato con mantici (1).

(1) Nella monografia vengono poi i criteri ed i mezzi con i quali le scale — di cui la prima segue il rapporto aritmetico, la seconda il geometrico — furono stabilite. Per i criteri vale quanto segue: 1.° *zero* « l'intimo grado di calore, ossia il termine comune del caldo e del freddo »; 2.° « il calore » del corpo umano fu supposto corrispondere a dodici parti: osservato che « il calore » dell'acqua bollente risultò quasi il triplo di quello del corpo umano; il sestuplo, l'ottuplo, dodici volte, e da sedici a diciasette volte quello dello stesso corpo umano, il « calore » rispettivamente dello stagno, del piombo, del *regolo marziale*, fondenti, e l'ordinario del fuoco di un camino.

Circa i mezzi: usato un termometro ad olio di lino per i « calori » fino alla fusione dello stagno; un ferro infocato per gli altri. Relativamente al termometro, valutato come di 10000 parti il volume del liquido al « calore » della neve fondente, erano stati determinati, in relazione, i volumi corrispondenti agli altri.

Per il ferro rovente si teneva conto del tempo che passava da quando, p. e., una lega fusa messa su di esso, si solidificava a quando ferro e lega si erano raffreddati fino alla temperatura del corpo umano: ed i risultati ottenuti erano confrontati — nei limiti in cui la cosa era possibile — con quelli avuti mediante il ermometro.

Antico e comune l'uso di segnare di fianco ad alcuni gradi della scala la indicazione di qualche fatto notevole, od interessante la generalità, che vi si riferisse. Valga ad esempio il termometro di Christin, noto sotto il nome di *Termometro di Lione*, le cui indicazioni togliamo dal Saverien — T. II, pag. 452 del *Dictionn. Univ. de Mathem. et de Phys., Paris, Rollin, 1753* — avvertendo che « la lettre *s* marque les degrés au-dessus de la congelation; la lettre *i* est pour ceux de dessous; et les lettres *ss* indiquent la chaleur au dessus de l'eau bouillante »:

125 *ss* Mercure bouillant.
115 *ss* Lessive bouillante de sel de tartre.
102 *ss* Eau de mer bouillante.

---

100 Terme de l'eau bouillante.
44 *s* Chaleur de la fièvre.
42 *s* Chaleur des poules.
37 *s* Grande chaleur de 1738 à Lyon.
35 *s* Chaleur naturelle du sang humain.
22 *s* Chaleur suffisante pour faire éclore et élever les vers à soïe.
15 *s* La plus grande chaleur que doit avoir un appartement où est un poele pour n'en être pas incommodé.
13*s* Température des caves de l'Observatoire de Paris.
0 Terme de la congellation par la glace pilée.

---

13 *i* Froid de 1740 à Paris.
15 *i* Froid de 1742 à Lyon.
18 *i* Congellation forcée avec le sel ammoniac.
19 *i* Froid de 1709 à Paris, calculé sur l'ancien *Thermomètre* de l'Observatoire.
24 *i* Froid extraordinaire à Upsal en 1740.

Peró i punti *fissi* della scala — in quelle rimaste alla fine del settecento — avevano per base le temperature del ghiaccio fondente e quella « del *Vapore* di acqua bollente in un vaso che cotesto *Vapore* attraversa senza decomporsi, più fissa di quella dell'*acqua* medesima », come aveva riconosciuto il Cavendish.

Si aveva anche l'idea di quel che venne dippoi chiamato lo *zero assoluto*. « Dalla considerazione — dice il Nicholson, § 1195, Vol. III della *Introduzione alla Filosofia Naturale*, Firenze 1800 — dei calori specifici del medesimo corpo nei due stati di solidità e fluidità e dalla differenza fra i medesimi calori specifici si deduce un metodo di trovare il numero dei gradi che indicano la temperatura di qualunque corpo immediatamente dopo la congelazione computati dallo zero naturale, o dall'assoluta privazione del calore ».

La regola l'aveva data l'Irwin, ingegnosa, non, però, rigorosa nè nel principio, nè nel ragionamento, cosicchè, ad esempio, cotesta temperatura « dell'assoluta privazione del calore » sarebbe stata diversa per le diverse sostanze, e, per il ghiaccio, di 1268 gradi della scala del Fahrenheit, al disotto del relativo zero.

Anche su la comparabilità delle indicazioni date dai termometri si era portata l'attenzione dei fisici, e merita menzione il fatto che l'Halley già fino dal 1693 — *Phil. Transact.* — riteneva preferibile l'aria come corpo termometrico perchè aveva riconosciuto come nessun liquido aumentasse di volume proporzionalmente al calore che gli veniva fornito.

Il Six e il Rutherford avevano già dato quei loro termografi a massima e minima — *Phil. Trans.* del 1782, e *Transact.* di Edimburgo, 1794 — che — quello del Six con le modificazioni fatte poi dal canonico Bellani — sono oggi ancora in uso. Forse era del Six quel termografo che aveva tanto interessato il Volta — *Prospetto di un completo osservatorio metereorologico*, manoscritto con la data 23 agosto 1791, rip. in *Atti del R. Istituto di S. L. ed A.* 1861, Vol. II, pag. 242 e seg. — e del quale il sommo fisico scriveva: « Tale strumento non solo curioso, ma che ha la sua utilità, mostrato dal cav. Landriani (che ne aveva portato uno da Londra) al canonico Veneziani, bravo meccanico e macchinista e dimostratore di fisica in Brera, è stato immediatamente da questi imitato; anzi molti di tal fatta ne ha esso Veneziani eseguiti e regalati a suoi amici, fra i quali uno a me ». L'idea di cotesti termografi fu ritenuta erroneamente di origine italiana. Il Gay Lussac, infatti, in un articolo degli *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1817, T. V, intitolato « Instruments nouveaux » a proposito dei termografi del Rutherford, dopo avere accennato come l'idea di segnare con un indice solido le escursioni estreme della colonna liquida del termometro sia molto semplice, aggiunge: « aussi trouve-t-on qu'elle avait déjà été mise en pratique par les membres de l'Académie del *Cimento.* J'ignore si leur instrument a été décrit; mais il est conservé avec soin dans le cabinet de physique de Florence ». Quei termografi erano invece del canonico Bellani di Monza, com'egli stesso dà conto in una nota che dovremo ricordare nel capitolo prossimo, a proposito dello spostamento dello zero dei termometri.

1 2

1, 2 Termometri degli *Accademici del Cimento*
Riprod. delle fig. IV e V, Tav. III, dell'op. *Saggi di Naturali Esperienze*, ediz. del Cecchi, Firenze, 1691.
1. Termom. « d'un senso molto squisito » col cannello lunghissimo, curvato « a chiocciola » per rag. di comod.
2. Termom. « più pigro e infingardo degli altri » : in esso la temp. è indicata dall'affondarsi — per la dim. dens. del liq. per az. del calore — dell'una piuttosto che dell'altra delle palline.

Si avevano anche dei termometrografi che davano — come indica il nome — la registrazione continua della temperatura; e si potevano misurare le temperature elevatissime dei forni mediante il pirometro ideato e costruito dal Wegdwood, descritto nelle *Phil. Trans.* del 1782, e di cui — « An attempt to compare and connect the Thermometer for Strong Fire . . . with the common Mercurial ones », in *Phil. Trans.* a. 1784 p. 358 a 384 – l'illustre « Potter to Her Majesty » esponeva poi in modo particolareggiato la maniera di graduazione.

Il Leslie — col suo igrometro — aveva costruito il *termometro differenziale* che ne porta il nome, e crediamo anteriore al secolo XIX l'altro termometro differenziale comunemente designato col nome di *termoscopio* di Rumford, sebbene la monografia « Inquiry concerning the Nature of Heat » sia stata pubblicata nel 1804 — *Rumford, The complete Works*, Boston, 1873, Vol. II. p. 130. — In più luoghi -- in Inghilterra dal Boyle, *Exp. Phys. Mech.*, *exp.* 39, in Italia dal Taberrano, *Comm. di Bologna*, T. 2, P. 1 — si era notata l'a-

zione delle pressioni esterne su la capacità del serbatoio termometrico, e la conseguente influenza sul livello, a cui, per una data temperatura, doveva giungere il liquido entro il cannello.

Intorno alla dilatazione dei solidi non ci arresteremo nè a quel *pirometro a quadrante*, ideato dal Musschenbroeck usato poi dal Bouguer, e dall'Ellicott — *Phil. Trans.* 1736, p. 297 — perfezionato dallo Smeaton, che si usa ancora nei corsi per dimostrare la dilatazione lineare; nè al *pirometro* ad anello pure di uso comune nei nostri corsi che lo S' Gravesande aveva ideato per dimostrare « con un solo esperimento la dilatazione secondo tutte le dimensioni »; dilatazione, che per alcuni casi speciali avevano osservato il Torricelli e gli Accademici del Cimento, secondo prova il Caverni — op. cit. Vol. I, pag. 290 a 296 —.

Table de Comparaison de tous les Thermometres inventés depuis leur Origine jusqu'à l'année 1750.

Tav. di confronto di scale termometriche in uso nel secolo XVIII.
Rip. della Tav. XXXIII, T. II del *Saverien, Dict. Univ. de Mathém. et de Phys.* Paris, 1753.

Richiameremo piuttosto l'attenzione su le classiche esperienze del Lavoisier e del La Place — 1782 — ricordate in tutti i trattati di fisica, e che si collegano con i lavori portati dalla realizzazione della idea del sistema metrico decimale; realizzazione passata per tante vicende — portate da influenze sociali, quali forse non si riscontrano nella storia di alcun altro lavoro scientifico e che mettono in luce ancora più bella la serenità e la devozione alla scienza dei grandi che vi ebbero parte (1). E, con quelle, un posto d'onore nella storia della scienza

(1) Cominciato sotto Luigi XVI — ancora l'infelice monarca alla vigilia della fuga di Varennes, il 19 giugno 1791, se n'era occupato « avec une tranquillité et un sang-froid surprenants » — il lavoro relativo al sistema metrico ebbe a passare per una serie di peripezie, in cui tutta si ripercosse la influenza dei tempi terribilmente burrascosi.

Nell'epoca preparatoria della rivoluzione l'idea del nuovo sistema di misure aveva incontrato il più largo favore, perchè con esso si seppellivano le antiche: era pur sempre cancellare uno tra gli avanzi del feudalismo. Ma poi, venuta la maturità dei tempi, il Méchain incaricato della misura della parte sud del meridiano — da Barcellona a Rodez — era arrestato a Essonnes dai cittadini che vedevano nei suoi istrumenti dei mezzi di controrivoluzione; e al Delambre, incaricato dell'altra parte — da Rodez a Dunkerque — gli abitanti di Epinai facevano passare dei brutti momenti arrestando lui ed i compagni e insolentendoli al grido « voici des aristocrates »; quelli di Montlhery distruggevano i segnali, e quelli di Meaux facevano un'accoglienza inspirata a sentimenti di cui era buon rappresentante quel « brave sans-culotte » che, urtato dal titolo di accademico dato al Delambre in un documento ufficiale, gli andava cantando su tutti i toni: « Il n'y a plus de *Cadèmie*, plus de *Cadèmie*: tout le monde est ègal » come narra lo stesso Delambre.

Raccontando cotesto fatto, e dopo avere riportata l'intimazione del « brave sans-culotte »: « vous viendrez avec nous », il Delambre aggiunge: « Ils étoient en armes, et nous n'avions que des raisons: la partie n'étoit pas égale »: dal che è anche lecito argomentare che il Delambre deve avere fatto delle poco piacevoli riflessioni.

Nè le peripezie erano state tutte nelle centinaia di fatti dei quali quelli recati offrono un esempio. Quando il Governo francese tentava diffondere all'estero il sistema metrico, a motivo delle condizioni politiche gli

meritano le altre, a cui pure diedero occasione le delicatissime operazioni della misura della superficie della terra eseguite nel secolo XVIII in Francia ed in Inghilterra; vogliamo alludere alle esperienze eseguite dal Borda — col metodo *differenziale*, ideato originariamente dal De Luc — ed alle altre istituite con l'apparecchio costruito dal Ramsden — *Phil. Transact.*, 1785 — per la misura del meridiano che si eseguiva in Inghilterra sotto la direzione del generale Roy; apparecchio che venne poi modificato — in alcuni particolari — dal Bréguet, e che, appunto quale lo modificò il Bréguet, è pure descritto da tutti i trattati di fisica come se fosse di Roy e Ramsden, mentre è opera esclusivamente del secondo, modificata dal Bréguet.

Su le dilatazioni dei fluidi, il De Luc — *Recherches sur les modif. de l'Atmosphère* — aveva ideato un metodo per determinare quella assoluta dei liquidi, che doveva essere poi, nel secolo XIX, applicato, perfezionandolo, dal Biot e segnatamente dal Pierre. L'Hauksbee molto prima — *Phil. Trans.*, 1708, Vol. XXV, p. 267 — aveva esperimentato su la differente densità dell'acqua « tra il più gran calore naturale ed il più gran freddo naturale » segnati rispettivamente 50° sopra e 130° sotto lo zero del suo termometro, e l'11 febbr. dello stesso anno aveva determinato di 10° in 10° entro gli stessi limiti di temperatura la diversa densità dell'aria: e su questa l'Amontons, il Lambert il De Luc, il Dalton avevano pure eseguito misure tra 0° e 100°; e — fatto, sopra ogni altro importante — il Volta aveva stabilito la uniformità di dilatazione dell' aria secca, come risulta dal riassunto pubblicato da lui nel Giornale di Brugnatelli del 1794, nel quale, per altro, non è che una piccola parte « dei molti studii — dice il Magrini nel suo pregevole lavoro del

Termografo a massima e minima del Six.

Riprod. della fig. 1, Tav. III, pag 80, della monog. orig. del Six « Account of an improved Thermometer » in *Phil. Trans.* Vol. LXXII, a. 1782, pag. 72

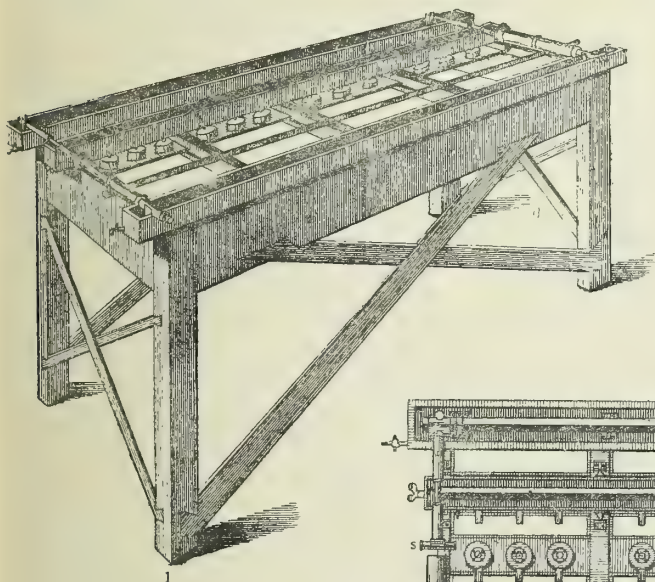
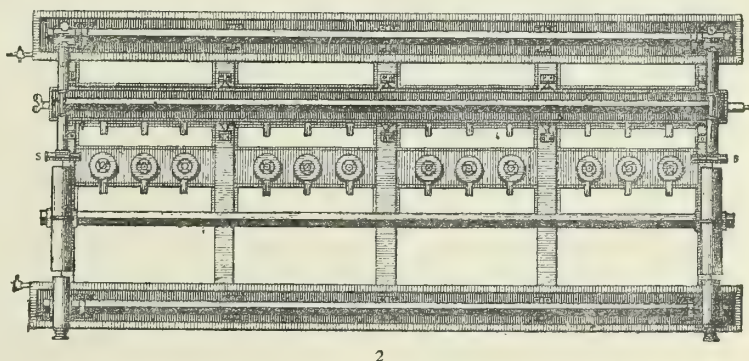
Il termom era ad alcole; la parte *defg* occupata da mercurio, la *ghi* ancora da alcole. Lateralm è rapp. uno dei due indici; *a* tubetto di vetro ermet. ch. e cont. un pezzo di filo di acciaio, *c*,*d* cilindretti di vetro nero; fissata in *c* la lunga e sottile molla di vetro dest. a tratt. l'ind. nella posiz. estrema a cui lo ha spinto il merc. *defg*. Inutile ag. che l'ind. di destra segn la mass., l'altro la min temperatura.

Il *termometro differenziale* del Rumford.
Rip. della fig. II, Tav. II, pag. 50 del *The Complete Works of Count Rumford, published by the American Academy of Arts and Sciences*, Boston, 1873, Vol. II.

scienziati medesimi, per prudenza, preferivano non mostrarsene troppo teneri; il Bode non stampava nelle sue Effemeridi alcunchè in difesa del sistema metrico perchè egli aveva « l'onore ed il vantaggio di scrivere in un paese monarchico », mentre il Trallès aveva delle noie per l'opera fatta in Isvizzera a favore del nuovo sistema, il Bugge criticava la determinazione del campione di chilogrammo, e il de Zoch, per la differenza di 32 centesimi di millimetro tra il metro provvisorio ed il definitivo, scriveva al Lalande; « Le scandale de la nouvelle mesure m'a donné bien de malaise; je me garderai bien de en pubblier quelque chose ».

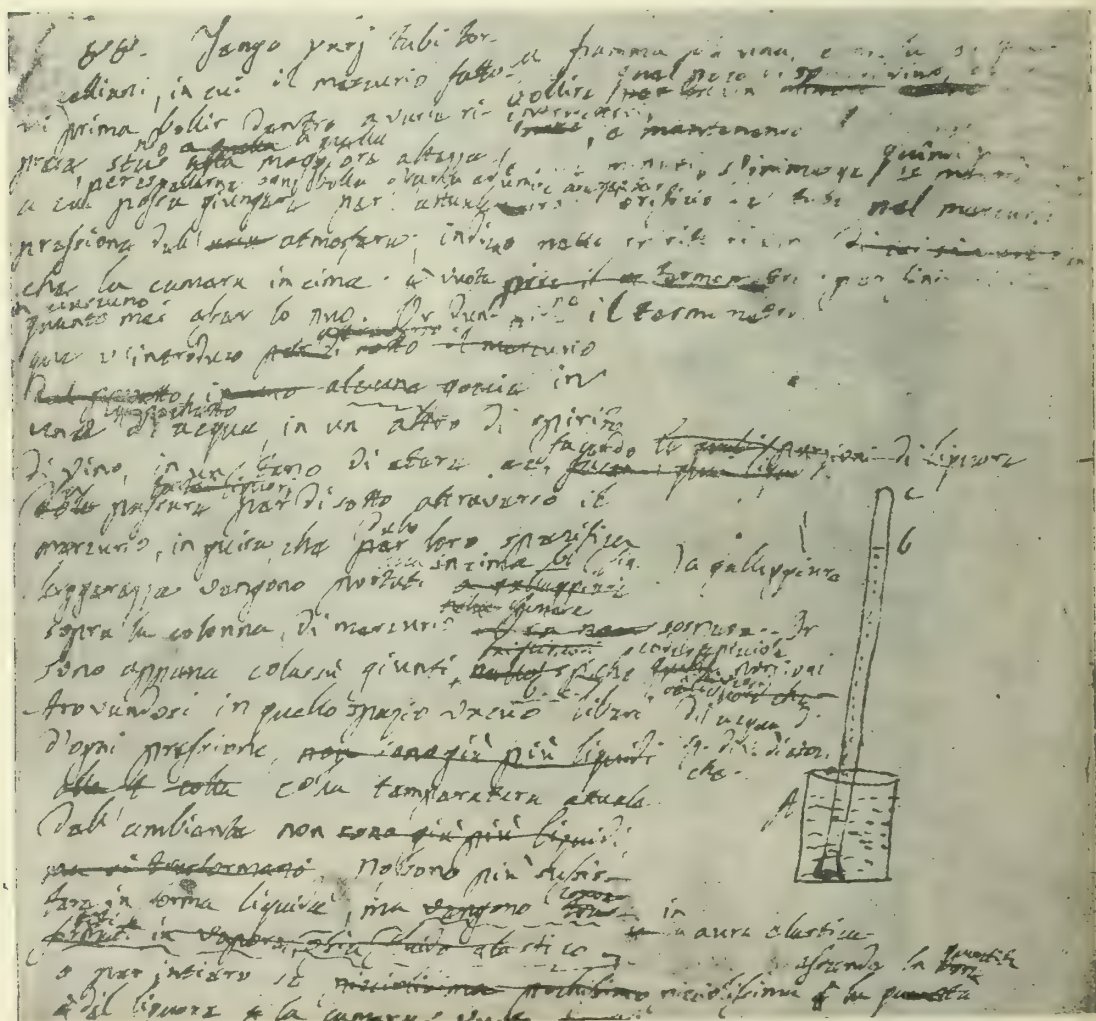
Vegg. « Le Système Métrique des poids et mesures » di Bigourdan, l'illustre dirett. dell' Osservatorio di Parigi. Paris, Gauthier-Villars, 1901.

1861 — cui aveva profondamente accudito intorno a questo interessantissimo argomento come ne fanno fede gli autografi ».

Anche le mutazioni di stato fisico avevano formato oggetto di esame. Già fin dal 1708 — *Phil. Trans.*, vol. cit. — l'Hauksbee aveva studiato il punto di congelazione dell'acqua purgata d'aria; il Fahrenheit, nelle sue importanti monografie « Experimenta circa gradum caloris liquorum nonnullorum ebullientium instituta » e « Experim. et observ. de congelatione aquae in vacuo factae » — *Phil. Trans.*, 1724 — aveva riferito per l'acqua la possibilità di rimanere liquida, per forte pressione, al di sotto dei zero gradi, ricordato che l'Amontons con l' aiuto « di un certo termometro da lui inventato » aveva scoperto che « l'acqua bolle ad un grado fisso di calore » e data la temperatura di ebollizione dell'alcole, dello « spiritus nitri », del « lixivium cineris clavellati » e dell' « ol. Vitrioli » riferiti a quel 212 che aveva fissato per l' « aqua pluvia »; e il Blagden — *Phil. Trans.*, 1788, Volume LXXVIII p. 277 — aveva studiato l' abbassarsi del punto di congelazione delle soluzioni saline e l' influenza che su cotesto punto esercita la quantità del sale disciolto. Su la qualità di esso, si erano avuti molto prima degli esperimenti degni di nota, come quello del Lister — *Phil. Trans.*, a. 1685 Vol. XVI, p. 836 — che, 3 dic. 1684, aveva esposto all'aperto, sul suolo, di notte, quattro bottiglie contenenti rispettivamente « Red-Natron Water of Egypt, a Strong Solution of Natrum Murarium in fair Water », dell'acqua di mare, presa a Scarborough e « mor then half evaporated », e dell'acqua solforosa di Knagsborough; e ne aveva poi ossservato le fasi di congelazione. — Preceduti poco meno che un secolo — 1665 — dal Boyle, che — *Op. Omm.*, Venezia, 1696-97, T III *De Mechanica Caloris et frigoris origine, Exp. IV* — aveva osservato il raffreddamento prodotto dallo sciogliersi del sale ammoniaco, il Fahrenheit ed il Réaumur — 1734 — avevano

L'apparecchio del Ramsden per la misura delle dilatazioni lineari dei solidi: 1, Ved. prosp. dell'insieme; 2, pianta.

Ripr. delle fig. — Tav. XX, vol. LXXV, a. 1785, delle *Phil. Transact.* — che accomp. la monografia orig. « Description of the Microscopic Pyrometer » in « An Account of the Meausurement of a Base on Hounslow-Heat » del generale Roy, Vol. cit. pag. 461.

raccolto cognizioni importanti su le miscele frigorifere; il Brawn, a Pietroburgo, aveva sperimentato su la congelazione del mercurio; ed il Newton (?) — 1701 — aveva scoperto la legge che la temperatura di fusione è fissa, e ne aveva fatto base per la scala termometrica.

Su la mutabilità dello stato fisico, però, l'idea esatta doveva apparire solo alla fine del secolo XVIII. Essa usciva abbastanza completa, quasi una

L'esperimento « dei quattro barometri ». Autografo inedito del Volta ($^2/_3$ del vero).

Questa e la figura succ. sono rip. da manoscr. cons. dal R. Ist. Lombardo di Sc. e Lett. Ms. Classe H, f. 88, ed altro senza numeraz. Nella parte a sinistra si legge quasi in colonna: « Tengo vari tubi torricelliani in cui il mercurio fattovi prima bollire dentro a varie riprese, stando a quella maggiore altezza a cui possa giungere per l'attuale pressione dell'atmosfera, indica che la camera in cima é vuota quanto mai esser lo può. Or dunque v'introduco in uno un pochino di acqua, in un altro di spirito di vino, in un terzo di etere, facendoli passare per di sotto attraverso il mercurio, in guisa che data loro specifica leggerezza vengono portati in cima *b* (fig.) a galleggiare sopra la colonna di mercurio sospesa. Or sono appena colassù giunti (*sic*) codeste picciole porzioni di acqua, di sp. di v. di etere che colla temperatura attuale dell'ambiente non possono più sussistere in forma liquida, ma in aura elastica o per intiero se picciolissima ascende la quantità del liquore a la camera vuota... » (1).
La figura seguente mostra poi come il Volta operasse per introdurre il liquido nel tubo torricelliano.

divinazione, dalla mente sovrana del Lavoisier. « Se la terra si trovasse d'un tratto posta in regioni freddissime » scriveva quel grande nelle *Vues gén. sur la format. et la const. de l'atm. de la terre* « per es. nelle regioni di Giove

(1) Della scelta di questi autografi rendo grazie vivissime alla cortesia squisita dell'Ill.mo sig. prof. Conte Alessandro Volta, che oltre all'avermene dato la notizia, si occupò pure della ricerca. L'A.

e di Saturno, l'acqua che forma oggi i nostri fiumi ed i nostri mari, e probabilmente la maggior parte dei liquidi che noi conosciamo, si trasformerebbero in montagne solide ed in roccie durissime. L'aria, in cotesta ipotesi, od almeno una parte delle sostanze aeriformi che la compongono, cesserebbe indubbiamente d'esistere allo stato di fluido invisibile, per mancanza di un grado sufficiente di calore: essa si ridurrebbe dunque allo stato liquido, e siffatto mutamento produrrebbe dei nuovi liquidi dei quali non abbiamo alcuna idea ». Così quel genio. Ma l'idea non era patrimonio del sapere comune dei fisici, onde, ad esempio, non furono che fatti isolati e quasi accidentali le liquefazioni dei gaz. « Van Marum » — Chappuis et Berget, Leçons *de Phys. Gén.* Paris 1891, T I, p. 361 — « è il primo fisico che abbia liquefatto un gaz: l' osservazione ch' egli fece di questo fenomeno fu accidentale: si fu mentre sperimentava per verificare la legge di Mariotte sul gaz ammoniaco ch' egli vide bruscamente cotesto gaz mutare di stato sotto l' effetto di una pressione di 6 atmosfere e diventare un liquido trasparente ». E quando all'esperienza del Van Marum — descritta da lui nel cap. X di un vol. pubblicato nel 1798 per illustrare apparecchi della fondazione Teyler ad Haarlem, come si rileva a pag. 312 e 340 del T. 30 degli *Ann. de Ch.*, anno VII o 1799 — avremo aggiunto la liquefazione — per raffreddamento ottenuto con miscela di ghiaccio e sal marino — dell'anidride solforosa operata da Monge e Clouet, e quella del gaz ammoniaco ottenuta dal Guyton de Morveau mediante una miscela di neve e cloruro di calcio, — *Ann. de Ch.*, a. VII, o 1799, T. XXIX, p. 292 — avremo finito di esporre quanto si era conseguito in cotesto ordine di fatti prima del secolo XIX.

Da altro aut. del Volta.

Il digestore di Papin.
Riprod. della fig. 1, tav. al frontispizio del libro del Papin « La manière d'amolir les os et de faire cuire toutes sortes de Viandes en fort peu de temps, et à peu de frais ». Paris, Osmont, 1721.

Molte esperienze dei fisici del periodo di cui ci occupiamo si ripetono ancora nei corsi. Citiamo quella dell' Huyghens, 1667 — *Hist. de l'Acad. Roy. des Sc.* T I, p. 21 — che provocava il fendersi di una canna da pistola con la brusca dilatazione dell'acqua nell'atto del congelarsi; esperienza ripetuta quasi subito — tre anni dopo — dal Buot, per cui il compilatore dell'*Hist.* citata — stesso tomo, pag. 115 — notava che « tout sert aux Contemplateurs de la Nature: le froid qui fut fort rude pendant l'hiver de 1670 ne fut pas perdu pour les Phisiciens de l'Académie ». Citiamo del Franklin il bollitore — descritto, secondo riferisce il de Saussure, *Essais sur l'Hygrométrie*, Neuchâtel, 1783 pag. 268, nella LX.^{ma} delle sue *Lettere filosofiche* — e quella curiosa esperienza della ebollizione dell'acqua chiusa in una boccia privata d'aria, quando, mediante acqua fredda versata su la parte occupata dal vapore, si produce la parziale condensazione di questo; quella ricordata

dal Nicholson — op. citata, vol. III. § 1207 — della congelazione dell'acqua per opera del raffreddamento provocato da evaporazione di etere con cui si bagni il recipiente; e finalmente quella del Volta — manoscritti autografi inediti posseduti dal R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, Classe H f.° 88 ed altri — con la quale, valendosi di quattro canne barometriche, si dimostrano, nei corsi ordinari, e l'istantaneo vaporizzarsi nel vuoto torricelliano dell'acqua, dell'alcole, dell'etere alla ordinaria temperatura, e la diversa forza elastica dei loro vapori nelle dette condizioni.

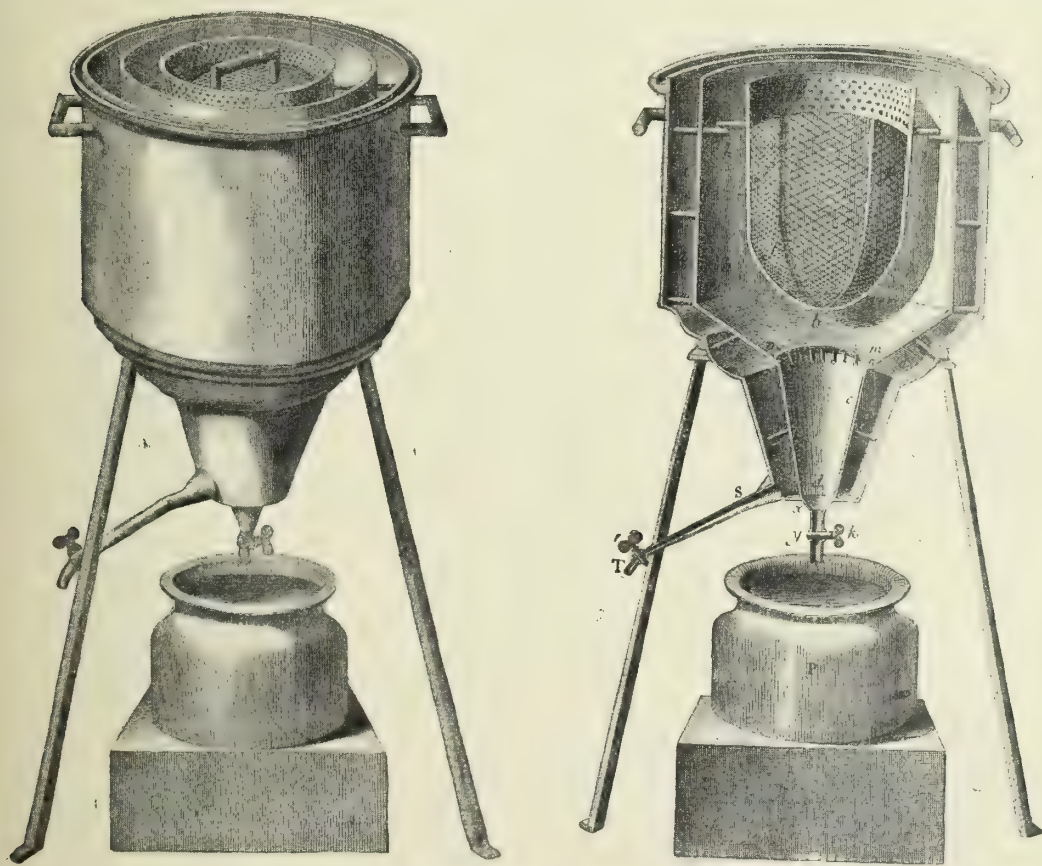
Il Papin — *Nouvelles Exp. du Vuide*, Parigi, 1674 — aveva, primo, osservato l'abbassarsi della temperatura di ebollizione col diminuire della pressione, poi — *A new digestor*, Londra 1681, 1687 — aveva inventato quel digestore — o *pentola*, come comunemente lo chiamano — il cui principio è stato poi ed è tuttora di tanta importanza nelle applicazioni industriali; e che egli invece aveva modestamente destinato ad altre economo-gastronomiche. « La Vache la plus vieille et la plus dure se peut rendre aussi tendre et d'aussi bon goût, que la viande la mieux choisie » dice egli, e, insieme a molti altri esperimenti del genere, racconta con compiacenza particolare di « un vieux lapin mâle et domestique, qui d'ordinaire est un pitoyable manger » come, mediante un fuoco di sei once di carbone e mercè la permanenza nel suo apparecchio, con una pressione di circa sei atmosfere, fosse riuscito ad averlo « fort bien cuit avec les os mols », aggiungendo poi che « il avoit aussi bon goût que les jeunes lapins l'ont d'ordinaire », e non dimenticando nemmeno di notare che « son suc se tourna en bonne gelée ».

Lavoisier.

Dal Volume del D.r Bigourdan, dirett. dell'Oss. di Parigi · *Le Système Métrique des Poids et Mesures*, Paris, Gauthier-Villars, 1901. — Con cort. perm. dell'illustre Autore e dell'Edit.

Pure i vapori si erano studiati discretamente, e lo Ziegler aveva pubblicato — *Specimen physico-chimicum de digestore Papini*, Basilea, 1769 — i risultati delle sue misure su la tensione di quello dell'acqua tra 0° e 100°. Ma fu segnatamente l'opera del Watt su la motrice a vapore quella che diede un grande impulso a cotesto ordine di ricerche e di misure — il Watt stesso, lo si comprende, se ne era occupato —; onde il secolo XVIII finiva con delle idee ben precise e stabilite sul fatto che il vapore di un liquido presenta ad una data temperatura un massimo di forza elastica, e su l'altro che cotesto massimo ha un valore tanto più grande quanto più è elevata la temperatura.

In cotesto patrimonio di cognizioni sui vapori — al quale avevano contribuito, oltre lo Ziegler ed il Watt, il De Luc, il Black, il Dalton, il Betancourt, lo Schmidt ed altri molti — v'è un titolo di gloria per la scienza italiana, poichè la parte di esso più importante è quella stabilita dal Volta,

il quale giungeva alle celebri leggi che corrono — non giustamente — sotto il nome del Dalton. Diciamo: non giustamente, perchè, se è — appena però — ammissibile che il Dalton vi arrivasse ignorando i lavori del Volta, non è meno vero che il Dalton pubblicava il suo solo nel 1803, mentre il Volta lo aveva di molto preceduto. « E se debbo nominar qualcuno » diceva il sommo in un discorso pronunciato il 14 giugno 1804 in occasione di laurea alla Università di Pavia « anche dell'Italia nostra, e se la modestia deve qualche volta far luogo alla verità e ad un giusto orgoglio nazionale, vi dirò che sono stato ancor io » — aveva nominato prima i lavori del Betancourt, dello Schmidt e del Dalton — « uno dei primi ad applicarmi a simili ricerche sperimentali, che mi parvero importantissime a più d'un riguardo.... nelle quali sperienze e risultati io ho per conseguenza preceduto di varj anni »: e all'enunciato della seconda di quelle leggi premetteva un: « legge che indicai chiaramente nel Giornale fisico chimico del nostro prof. Brugnatelli fin dal 1794 e di nuovo nel 1796 ». Così si rileva dai bei lavori del Magrini: « Sui manoscritti inediti di Alessandro Volta » e « Notizie su A. Volta » in *Atti*

Il *Calorimetro* di Lavoisier et Laplace.
Riprod. della Tav. I della monog. orig. *Mémoire sur la Chaleur, lû à l'Acad. Roy. des Sc. le 28 Juin 1783.*

del R. Istit. Lomb. di Sc., Lett. ed Arti; Vol. II, fasc. X-XI e XII-XIII-XIV, a. 1861 ».

Questione che — al più alto grado — interessa insieme la scienza pura e la tecnica è quella delle misure delle quantità di calore occorrenti a pro-

durre determinate variazioni di temperatura in una massa determinata delle diverse sostanze, o che sono assorbite o restituite nelle diverse mutazioni del loro stato fisico.

Non si può dire che si fosse fatto molto prima del secolo XIX. Tuttavia non solo era noto — *S' Gravesande, Physices Elementa*, Leida, 1748, § 2515 — che « i diversi corpi ugualmente caldi non operano alla stessa maniera sul medesimo corpo »; ma il concetto di calore specifico era ben precisato; anzi il Wilke aveva ideato — per determinarlo — il metodo della fusione del ghiaccio, esposto, secondo il Jamin, dal quale — *Cours de Phys. de l'Éc. Polyt.* T. II, fasc. 2, pag. 20 — togliamo la notizia, nelle Memorie dell'Accademia di Stoccolma del 1772; metodo che già prima del secolo XIX aveva dato risultati attendibili nelle mani del Black e dell'Irwin, classici in quelle del Lavoisier e del Laplace, i quali, per applicarlo, avevano ideato quel loro calorimetro, di cui — *Mém. de l'Académie des Sciences*, 1783 — si vede il disegno in tutti i trattati anche moderni. Pure — lo aveva adoperato il Black — il metodo delle mescolanze era usato: « si possono fare gli esperimenti sopra il calore, diceva il Nicholson nel 1800 — op. cit. § 1198 — mescolando insieme in un vaso diversi corpi fluidi dei quali si conoscano la temperatura, il volume e la capacità o il calore specifico ».

1 2

L'*igrometro a capello* del de Saussure. — 1, Modello grande; 2, modello da trasporto.
Riprod. delle Fig. 1 e 2, Tav. I, pag. 524 dell'ediz. orig. dell'op. del de Saussure: *Essais sur l'Hygrométrie*, Neuchâtel, Fauche, 1783.

E su le quantità di calore che accompagnano le mutazioni di stato fisico — *calore latente*, come si chiamava allora e fu chiamato per una buona parte del secolo XIX — il Black, il Watt, il De Luc avevano lavorato per determinare quelle della fusione del ghiaccio; e col Lavoisier e col Laplace si erano stabiliti i concetti della identità del calore che si rende « latente » nella fusione con quello che si svolge nella solidificazione di una massa uguale, come il concetto — importantissimo di fronte alla teoria dinamica — della *necessità* di una certa quantità di calore la quale, nella dilatazione, non può essere accusata dal termometro. « Puisque — è scritto nella *Mem. sul calore*, p. 36 — la *dilatation*, la *fusion* et la *vaporisation* sont autant d'effets de la chaleur, on peut présumer avec beaucoup de vraisemblance que dans la production du premier de ces effets, comme dans celle des autres, il y a une quantité de *chaleur* qui s'absorbe, et qui par conséquent cesse d'être sensible au ther-

momètre », dal che — precorrendo con la intuizione del vero l'esperienza — quelle glorie della scienza universale erano indotti a dedurre come molto probabile che « les chaleurs spécifiques des corps augmentent avec leur température, mais suivant des loix différentes pour chacun d'eux, et dépendentes de leurs constitutions particulières ».

Nè è a dimenticarsi come fossero stati studiati — notevoli, per cotesto lato, i lavori del Cavendish relativi ad esperimenti con miscele frigorifere eseguiti alla Baja di Hudson — i fenomeni termici complessi che accompagnano le soluzioni.

Su la trasmissione del calore, all'infuori di osservazioni molto superficiali, non sempre disgiunte da errori — lo S' Gravesande, ad es., dà per oro di zecca, *op. cit.* § 2521 e 2522, che « il calore penetra nel corpo tanto più facilmente quanto più esso è caldo » — non si hanno a notare — coteste, però, importanti — se non la formola del Newton sul raffreddamento e l'esperienze — ingegnosissime — del Rumford su la conduttività dell'acqua, che misero nella luce della maggiore evidenza quanto essa fosse scarsa —: entro un recipiente, sopra un cilindro di ghiaccio che ne occupava il fondo, era stata versata dell'acqua a 100°, e, salvo che nello straterello in immediato contatto con il ghiaccio, nel quale straterello l'acqua si era raffreddata, la temperatura si conservava alta senza che il ghiaccio potesse fondersi.

2 1

3

Divertimenti con un' *eolipila* metà del secolo XVIII.

Da una stampa dell'epoca.

1, Riscald. dell'aria int. per oper. il riemp. con alcole; 2 riscald. di questo per determ. un soffio abbond. di vap. d'alc.; 3 accens. del getto.

Più avanzato lo studio della umidità e dei suoi fenomeni, o *igrometria*, nome dato « *à cet art ou à cette science* » — così il de Saussure — dal celebre geometra Lambert.

Anzitutto ben precisato il concetto della umidità relativa, a cui il De Luc dava nome di *stato igroscopico*, che definiva — *Idées sur la Météorologie*, cap. III — come « le rapport de l'état actuel, avec l'un ou l'autre des deux Extrêmes, de *Sécheresse* ou d'Humidité ».

Ma poi era già stata fatta da un pezzo — dal Musschenbroeck — l'osservazione che un termometro indica una temperatura più bassa del vero quando è bagnato, osservazione che è la base del psicrometro di August di cui si vale oggi la meteorologia per determinare l'umidità dell'atmosfera. Il Le Roi di Montpellier — 1771 — con il suo metodo di raffreddare, mediante pezzettini di ghiaccio, dell'acqua fino a che le

Forno *da calce* del Rumford.

Ripr. della Tav. a pag. 84 del *Iournal de Phys.* di Delamétherie, T. XLIX, a 1799.

Il Rumford si era prop: 1.° che il comb. potesse consum. il fumo; 2.° che fiamma e vap. scald. avess. buon cont. con la pietra da calce, dal che la forma di cono tronco molto alto; 3 di rendere contin. oper il forno, per econ., dal che la possib. di caric. contin. amb. le sez; 4 possib. che la pietra calcinata, prima che lasci il f. com. ad esso il prop. cal. Forni sim. egli aveva costr. a Dublino ed a Monaco di Bav.

pareti del recipiente si coprono di un *velo di rugiada* — aveva gettato la base degli igrometri a condensazione che nel secolo successivo col Daniell e col Regnault — e più con l'Alluard — dovevano rendere servigi tanto segnalati. Il de Saussure — 1775 e 1781, vegg. *Essais sur l'Hygrométrie*, Neuchâtel, 1783 — aveva inventato il suo *igrometro a capello* — che era stato preceduto di dieci anni da quello a lamina di avorio che il De Luc aveva presentato alla *Royal Society*. — Lo stesso De Luc, poi, oltre all'altro igrometro, a lamina di fanone di balena, in forma di orologio per servire « à la connaissance des tems », aveva fatto degli studi interessanti sul comportarsi di sostanze — come legni, avorio, piume — tagliate con le fibre trasversalmente, e di altre, capelli, canapa, seta, crini — offrenti le fibre nel senso longitudinale, e finalmente — come fu già detto a proposito del termometro — il Leslie aveva inventato il suo igrometro.

Un camino da sala del Gauger.
Ripr. della fig. 254, tav. XXVIII, vol. I, del *Saverien, Dict. univ. de M. et de Ph.*
Spiegaz. — Per richiamo operato grazie al cal. del comb., l'aria. presa dalla camera, od anche dall'est., entrando per l'ap. di destra, attrav. il condotto ondul. e si versa nella cam. per una apposta in alto della par. di sin.

Tale — nei punti principali — lo stato delle cognizioni sui fenomeni del calore alla fine del secolo XVIII. Se ne sapeva troppo poco perché potessero aversi applicazioni importanti, ove se ne tolga la macchina a vapore — della quale non è compito nostro il discorrere. — Il perché non è a meravigliarsi se — all'infuori dei forni per industrie quali quelle delle calci, dei vetri, delle porcellane — altri apparecchi fossero ancora allo stato di curiosità da trastullo, o, come quelli da distillazione o da riscaldamento, fossero poco meno che primitivi. Però si studiava, e già nel 1753 il Saverien poteva scrivere con ragione che aveva visto « manier le *Feu* avec art » nell'opera intitolata *La Mécanique du Feu, ou l'art d'en augmenter les effets et d'en diminuer la dépense*, di quel Gauger, che, oltre all'avere portato delle idee geniali sui camini, aveva costruito le prime stufe con ventilazione ottenuta dall'esterno, per cui si sarebbero potute fornire le sale negli Ospedali di aria sempre nuova « qui deviendroit sane pour les malades ». Notevoli sopratutto gli studi del Rumford sui camini, alla fine del 1700.

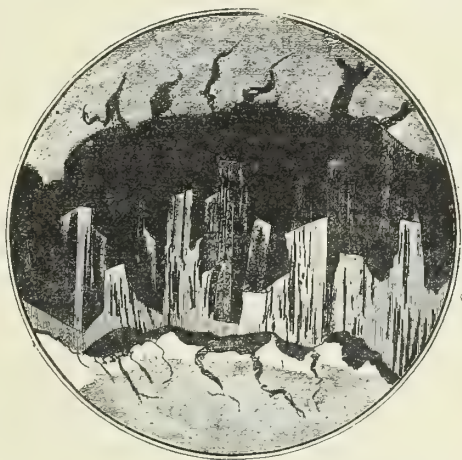
Stufa del Gauger, con ventilazione.
Ripr. della fig. 302, tav. XXVIII, vol. I del *Saverien, Dict. univ. de M. et de Ph.*

Toccava al secolo XIX il creare tutta la serie di applicazioni tecniche le quali formano una parte notevole della industria moderna. Ed esso vi riusciva per quella grande conquista del pensiero che fu la teoria dinamica del calore.

II.

Lo studio delle dilatazioni termiche. — La termometria.

Si dilata l'aria al contatto con la superficie della terra riscaldata dal sole, si condensa al contatto con le alte barriere belle per eterno candore, coi ghiacci immensi dei poli; e si determina in essa quella circolazione, per la quale nel grande oceano avviluppante il nostro mondo è continuo il movimento e si avvicendano piogge benefiche ed uragani, è portato lontano lontano il pulviscolo fecondatore della vita vegetale, ed a quanti sono esseri che ne abbisognano l'aria è fatta sempre vitale; quella circolazione meravigliosa, per la quale « gli elementi stessi cui le foglie dell'albero diffondono, il vento li porta ai polmoni del fanciullo che ha appena schiuso gli occhi alla luce; l'ultimo sospiro di un morente va a intessere la corolla brillante del fiore, a comporne il profumo..., e, per una concatenazione senza fine di morti parziali, si alimenta la vita universale del globo (1) ». Alizei, monsoni, brezze sono per coteste variazioni di volume operate nell'aria dal calore; sta in esse uno dei fattori importanti dei climi; le loro vicende furono arbitre della navigazione da quando l'uomo armò di vele la prima nave, al giorno in cui anche per la nave potè valersi del vapore.

Muta pure con la temperatura la densità delle acque; e quelle dei tropici ne portano alle alte latitudini il calore, mentre le fredde e povere delle regioni dei poli scendono a quelle dell'equatore, ove le attendono dovizie di sali e di energia; e continuo è lo scambio delle acque — e con esse del calore e degli elementi vitali — tra tutte le regioni del globo. E perchè l'acqua, provvidenzialmente — a circa 4° se dolce, a temperatura più bassa se tiene disciolti dei sali; sempre a temperatura di parecchi gradi superiore al punto in cui gela — con l'ulteriore raffreddarsi — anzi che diminuire di volume — si dilata e si fa meno densa e galleggia su quella che ha raggiunto il *massimo della densità*, tutta la fauna delle acque trova negli abissi oceanici una temperatura — relativamente — mite e costante. Perfino appena sotto la crosta ghiacciata — un'esile crosta! — per la quale durante il lungo inverno si fa morta tanta parte della superficie dei mari, si perpetua ed è rigogliosa la vita. Al Ciutkco — Nordenskjöld, *La Vega*, Vol. I — basta fare con una lancia a punta di ferro un foro nella crosta di gelo che sconfinata si parte dalla sua gelida terra; agli uccelli cui la primavera riconduce ai nidi lasciati sugli estremi basalti del nord — R. Collet e F. Nansen, *An*

Cristalli di *joduro di argento* quali appaiono nel microscopio.

Ripr. della fig. 6 della monog. orig. del Rodwell *On the Effects of Heat on certain Haloid Compounds of Silver, Mercury and Copper*, in *Phil. Trans.* per l'a. 1882 T. 173, parte 3.ª, p. 1134.

(1) Réclus *La Terre*, Parigi, Hachette, 1881 — T. II, pag. 267.

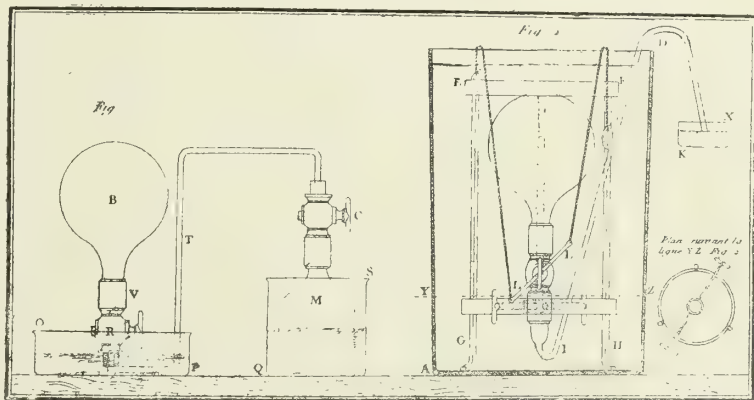
account of the birds, mem. IV, T. I dei *Scientific Results* della Spedizione Nansen 1893-96 — basta che lo sguardo acutamente indagatore riveli un punto in cui il *pack* presenti una screpolatura; cotesto basta perchè la donna del Ciutkco ed i migratori strani possano procurarsi pesci e crostacei: a 85°. 52[1] di latitudine, il 12 novembre 1895, il *Fram* — *F. Nansen, The Oceanography of the North Polar Basin* in *Scientific Results*, T. III, p. 108 a 132 — mentre la temperatura dell'aria era - 24°, trovava l' acqua, alla profondità di *un* metro, a quella di - 1°, 8; e negli scandagli del 9 e 2 dicembre del medesimo anno, rispettivamente alle latitudini di 85°.25[1] e 85° .28,[1] 4, mentre la temperatura esterna era di - 38° e - 40°, lo scandaglio dava - 1°,85 a fior d' acqua nella prima località, + 0°,69 e - 0°,71 a 450 e 1900 metri nella seconda.

L'apparecchio del prof. Voigt per mis. le dil. dei crist.
Ripr. dalla mon. orig. *Ueber einen einfachen Apparat zur Bestimmung der thermischen Dilatation fester Korper, speciell der Krystalle*, in *Wied. Ann.*, a. 1891, T XLIII, p. 831.
Legg. espl. — *AA* lastra di ott. fissa al suo estr. sup. e rec. la mensoletta B. Su questa poggia la vergh. cristallina *tt*, reggente per la picc. vite *r* il pezzo *w* che poggia anche, med. le viti r_1,r_2, sul lembo oriz. di una finestrella pratic. in *AA*. Al giogo *w* danno stabilità i contrappesi g_1, g_2. Il giogo stesso — di cui *r* si alza o si abbassa, rispetto alle viti r_1,r_2, secondo che *tt'* si dilata o si contrae rispetto all'ottone — reca uno specchietto s_2, fisso ad esso e vert., sopra il quale ne è un altro immob. s_1. Quindi un raggio di luce rifl. dai due specchi ha direz. fissa per la parte rinviata da s^1, variab col dilat. di *tt*[1] per l'altra caduta su s_2. Dallo spost. del sec. raggio risp. al primo si ded. la dil. di *tt*[1] risp. ad un'asta di ott. di ug. lungh. Conoscendosi questa, si ded. la prima.

Pochi fatti sono collegati altrettanto intimamente con la vita e con la economia della natura, come cotesto del variare il volume dei corpi al variare della loro temperatura; fatto immensamente semplice per un lato, immensamente interessante e complesso nei particolari del suo meccanismo.

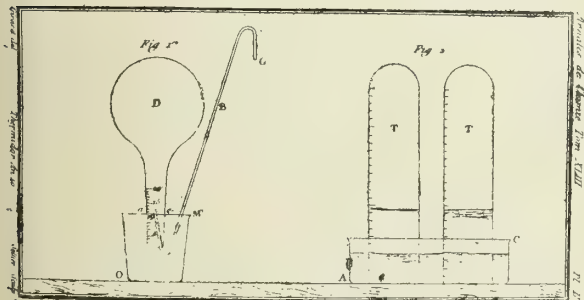
Oltre che l'influenza sua nelle circolazione atmosferica ed oceanica, lo rende interessante, tra altro, anche la enormità della potenza che è in giuoco. Il ritorno alla posizione verticale dei muri della celebre sala del *Conservatoire des Arts et Métiers* — ritorno che, nei primi anni del secolo XIX, il Molard, vincendo l'effetto della spinta delle vôlte, otteneva mediante la contrazione di sbarre di ferro raffreddantisi — fa pensare alla enorme potenza di cotesta contrazione, all'enorme grandezza della forza di attrazione che si esercita tra le particelle invisibili dei corpi. Ma esso fa anche pensare all'energia occorrente a vincerla quando il corpo si dilata, e, con essa, alle forze che sono in giuoco nella natura, in cui tutto, continuamente, sotto i raggi del sole si dilata, per contrarsi al loro scomparire; a quelle che sono in giuoco nei mondi del nostro sistema planetario, a quelle che sono in giuoco nelle innumerabili stelle del cielo.

Lo rende complesso l'essere esso collegato con la intima costituzione

dei corpi. Si è in cotesto vincolo una delle ragioni dell'interesse speciale che offrono gli studi su le dilatazioni dei cristalli; di coteste meraviglie nelle quali la materia obbedisce in modo il più perfetto alle forze governanti quell'eterno enigma che è l'edificio meccanico della molecola. Quanti problemi — per restringerci al campo delle variazioni di volume — hanno essi proposto al fisico da quando il Mitscherlich — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1824, T. XXV, p. 108 — scoperse che quelli del carbonato calcare presentano dilatazione diversa nelle diverse direzioni; scoperta confortata poi, non solo — *Ann.* citati, a. 1826, T. XXXII, p. 111 e *Pogg. Ann.*, a. 1837, T. XLI, pag. 213 — da altre delle copiose osservazioni che avevano provato al Mitscherlich come il fatto fosse generale ed avesse leggi diverse secondo i tipi di forme cristalline ed il loro comportarsi rispetto all'andamento dei raggi luminosi, ma anche da quelle ricerche del Pfaff — *Pogg. Ann.*, a. 1858 T. CIV, p. 171, ed a. 1859, T. CVII, p. 148 — nelle quali egli aveva trovato che spato e berillo, riscaldati, trasversalmente si contraggono! Quanti problemi! E cotesti problemi si complicano per la scoperta del Fizeau — *Comptes Rendus de l'Ac. des Sciences*, a. 1867 T. LXIV pp. 314 e 771 — del contrarsi che fa in volume, per il calore, tra -10° e 70°, il joduro di

Gli apparecchi del Gay Lussac per lo studio della dilatazione termica dell'aria e degli altri gaz.

Ripr. delle Tav. I e II della mon. orig. *Sur la dilatation des gaz et des vapeurs*, in *Ann. de Chimie*. a. X, T. XLIII, p. 137.

Legg. espl. — I. Parte, Fig. 1: B pallone in vetro, T tubo adduttore del gaz, M campana di vetro per riemp. B versando acqua nel vaso QS. Fig. 2. Il pall. disp. per la mis. della dilat. del gaz da cui è riemp.; *ID* tubo in ferro pesc. nel recip. KX cont. mercurio per sep. il gaz dall'aria est.; *LL* leva dest. ad apr. e chiud. la chiavetta del pall. e manovrab med. funicelle; *EF GH* incastellatura cilindr. in ferro; *AD* vaso in rame pieno di acqua per riscald. o raffredd. il gaz cont. nel pallone.

II. Parte: Fig. 1, apparecchio anal. al prec. e tutto in vetro. — Fig. 2. Dispos. per i gaz solubili nell'acqua, e per i quali oc. us. il mercurio. Una delle campanelle era riemp. del gaz, l'altra d'aria.

argento e del suo dilatarsi per il raffreddamento; fatto strano, tanto più quando lo si mette al confronto con i risultati delle esperienze molto accurate del Rodwell — *Phil. Trans. of the Royal Society of London*, a. 1882, T. 173, parte III, p. 1125 — che, nello estendere le esperienze del Fizeau fino alla temperatura di fusione, ha constatato pure come la stessa sostanza riprenda il comportamento normale sopra i 163° — almeno fino ai 527°, temperatura alla quale fonde, aumentando di volume repentinamente — per poco meno che il 4 per cento, e precisamente, detto 1 il volume a 0°, da 1,005008 a 1,040908; — fatto che lascia pensare a profonde modificazioni nella struttura operate dal calore; quando si tengano presenti gli studi da

Bellati e Romanese compiuti a Padova — pubblicati primamente nelle *Phil. Transact.* vol. cit., pag. 1169, nell'anno successivo nel *Nuovo Cimento*, serie 3.ª, T. XIV, p. 187 — e nei quali, valendosi degli stessi esemplari studiati dal Rodwell, ebbero a constatare come tra i 142° e i 163° — intervallo nel quale avviene il cangiamento di struttura — si abbia un grande assorbimento di calore. « Questo calore di trasformazione — dicono i due fisici italiani — impiegato unicamente a fare il lavoro molecolare relativo al cangiamento di struttura, è tanto, che basterebbe a riscaldare il corpo di oltre 90° ». Che avverrà mai in quei mondi ultramicroscopici?

Cotesti studi su le dilatazioni dei cristalli, ed in generale dei corpi che presentano differenze di costituzione a differenti temperature, hanno avuto nell'ultima parte del secolo XIX molti cultori, alcuni dei quali portano nomi cospicui nella storia della scienza. Citiamo il Voigt dell'Università di Gottinga — *Wiedemann's Ann.*, a. 1891, T. XLIII, pag. 831 — che immaginava anche, per le misure, un apparecchio speciale: la dilatazione producentesi in una verghetta del cristallo serve a far inclinare variamente uno specchio girevole intorno ad un asse orizzontale; misurando mediante un canocchiale la piccola rotazione dello specchio si deduce l'allungamento impercettibile della verghetta.

Citiamo lo *Schrauf* di Vienna che — *Zeitschrift für Kristallographie*, T. IX, p. 433 — studiava insieme il trimorfismo e la dilatazione termica dell'ossido di titanio nei tre minerali ch'esso costituisce — brookite, rutilo, anatase, — e poi — periodico citato, T. XII, p. 321 misurando le dilatazioni direttamente col microscopio — lo zolfo in cristalli naturali ed in artificiali. Citiamo ancora il lavoro del Pisati — *Gazzetta Chimica Italiana* T. VI, 1874 — su la dilatazione del solfo fuso, il bel lavoro fatto dal Toepler all'Istituto Fisico dell'Università di Lipsia — *Wied. Ann.*, a. 1892, T. XLVII, p. 169 — su le variazioni relative tra - 20° e + 200° del volume del solfo cristallizzato, liquido e plastico; quello del Russner — *Carl's Repertorium*, a. 1882, p. 152, riassunto in *Journal de Physique*, stesso anno, serie 2ª, T. I, p. 193 — ancora su lo solfo, sul caucciù, sul caucciù indurito, su la guttapercha e su la parafina; e finalmente quello del Leduc — *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 1891, T. CXIII, p. 259 — su la dilatazione del fosforo e sul brusco cambiamento di volume che accompagna la sua fusione.

Cotesti studî che toccano da vicino la fisica molecolare, e su cui dovremo ritornare parlando della dilatazione dell'acqua e delle dissoluzioni saline, sono una ben piccola parte di quelli, che riguardano le dilatazioni, compiuti durante il secolo XIX.

Si ebbe in esso un periodo che si potrebbe dire aureo, in cui lo studio delle dilatazioni, specialmente per i liquidi e per i gas — quello dei solidi era già stato portato a buon punto dal Ramsden e da Lavoisier e Laplace, come fu detto — fu posto su basi veramente solide e portato al punto da non richiedere più se non quei perfezionamenti che si potrebbero dire di raffinatezza.

È il periodo dei lavori classici del Dalton (1) a Manchester, del Gay Lus-

(1) *On the constitution of mixed Gases; on the force of Steam or Vapour from Water and other Liquids in different Temperatures, both in a Torricellian Vacuum and in Air; on Evaporation: and on the Expansion of Gases by Heat;* letta alla *Literary and Philosophical Soc. of Manchester* il 2, 16, 30 ott. 1801, pubbl. in *Memoirs* della stessa Soc. Vol. V, parte II, a. 1802 p. 535. La parte rel. alla dilat. dei gas si trova da pag. 595 a 602.

sac (1) — allora, 1802, ancora allievo dell'*École Nat. des Ponts et Chaussées* — di Dulong et Petit (2), di Tomaso Carlo Hope (3) professore di Chimica ad Edimburgo, di Gustavo Gabriele Hällström (4) professore di fisica a Abo in Finlandia, del Despretz (5), di G. Isidoro Pierre (6) professore alla Facoltà di Scienze di Caen, del Kopp (7), del Rudberg (8) a Upsala, del Magnus (9) a Berlino, del Regnault (10) a Parigi.

Di tutti cotesti lavori i trattati di fisica anche elementari riferiscono gli scopi, i metodi, i risultati — danno pure le figure delle principali disposizioni usate (11) — onde, attesi i limiti in cui deve essere contenuto questo schizzo, non ne parleremo in modo particolareggiato.

(1) *Recherches sur la dil. des gaz et des vapeurs*, letta all'*Institut National* l'11 piovoso, anno X.

(2) *Recherches sur les lois de dilatation des solides, des liquides et des fluides élastiques, et sur la mesure exacte de la température* — lett. all'*Académie des Sciences* il 29 maggio 1815, rip. negli *Ann. de Ch. et de Phys.*, t. II, 1816, pag. 240 a 263 — e *Recherches sur la mesure des températures et sur les lois de la communication de la Chaleur*, a cui l'Accademia nella seduta pubblica del 16 marzo 1818 conferiva il premio per la fisica.

(3) *Expériences et observations sur la contraction de l'eau par la chal. à des basses temp.*, trad. di Riffault, in *Ann. de Ch.*, T. LIII, a. XIII, pag. 272.

(4) *Rech. sur la Dil. de l'eau par la chal. et sur la Temp. à la quelle correspond son maximum de densité*, trad. dalle Mem. dell'Acc. delle Sc. di Svezia, in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1825, T. XXVIII, p. 57.

(5) *Rech. sur le Maximum de Dens. de l'Eau pure et des dissolutions acqueuses*, l. all'*Ac. des Sc.* il 23 gennaio 1837.

(6) *Sur les dilatations des liquides, Ann. de Ch. et de Phys.*, 3.ª serie, T. XV, a. 1845, p. 325 a 408; T. XIX, XX, XXI, a. 1847 pag. 193 a 221, 1 a 53, e 336 a 347 rispettivamente; XXXI e XXXIII a. 1851 pag. 118 a 153, e 199 a 244.

(7) Sui liquidi: *Untersuchungen über das specifische Gewicht, die Ausdehnung durch die Wärme und den Siedepunkt einiger Flussigkeiten, Pogg. Ann.*, a. 1847, T. LXXII, p. 1 a 62 e 223 a 293, *Ann. der Kemie und Pharmacie*, a. 1855, T. XCIV, p. 257 e T. XCV, pag. 307; e sui solidi: *Ueber die Ausdehnung einiger fester Körper durch die Wärme*, in cit. *Ann. d. K. u. Ph.*, a. 1852, T. LXXXI, pag. 1.

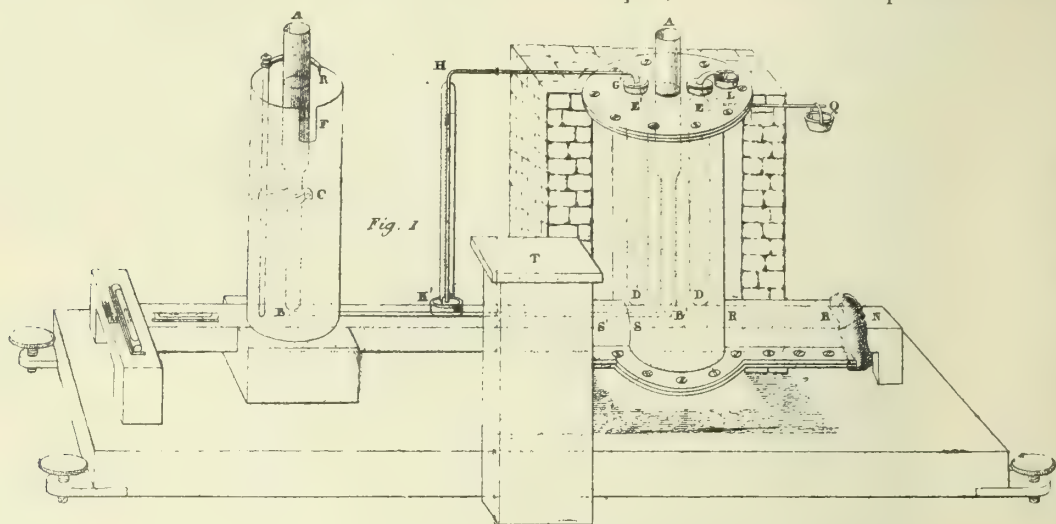
(8) Sull'aria secca. — *Ueber die Ausdehnung der trocknen Luft zwischen 0° und 100° C*, in *Poggendorff's Ann.*, T. XLI del 1837, pag. 271, e *Zweite Rehie von Versuchen über die Ausdehnung*, ecc. negli stessi Annali, a. 1838, T. XLIV, pag. 119.

(9) Sui gas: *Ueber die Ausdehnung der Gase durch die Wärme*, test. quale venne com. all'Acc. di Berlino il 25 Nov. 1841, in *Pogg. Ann.* a. 1842, T. LV p. 1, in riassunto identico in *C. R. de l'Ac. des Sc.*, p. 165 a 170, T. XIV, 1 sem. del 1842 ed in *Ann. de Ch. et de Ph.*, a. 1842, serie 3.ª, T. IV; e *Sur la dilat. de l'air dans les hautes temperat.*, *Ann. de Ch. et de Ph.*, stesso anno, T. VI. pag. 353.

(10) I lavori ponderosi, veramente insigni, del Regnault — alcuni comunicati in diverse riprese all'*Ac. des Sciences* e pubbl. in *Ann. de Ch. et de Phys.* — sono raccolti in un volume, divenuto rarissimo, col titolo: *Rélation des expériences entreprises par ordre de Monsieur le Ministre des travaux publics, et sur la proposition de la Commission Centrale des machines à vapeur, pour determiner les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul de le machine à vapeur*. Esso è riprodotto per intero in T. XXI, a. 1847, *Mémoires de l'Ac. Roy. des Sciences*, e consta in cotesta edizione, contemporanea e identica all'altra, di 767 pag. in 4.° gr. ed otto grandi tavole in rame. Comprende dieci Memorie, delle quali diamo l'elenco particolareggiato, attesa la loro importanza singolare:

I. *Sur les dilatations des fluides élastiques*, pag. 15 a 120.
II. *Sur la determination da la densité des gaz*, pag. 121 a 150.
III. *Détermination du poids du litre d'air et de la densité du mercure*, pag. 151 a 162.
IV. *De la mesure des températures*, pag. 163 a 270.
V. *De la dilatation absolue du mercure*, pag. 271 a 328.
VI. *Sur la loi de la compressibilité des fluides élastiques*, p. 329 a 428.
VII. *De la compressibilité des liquides, et en particulier de celle du mercure*, p. 429 a 464.
VIII. *Des forces élastiques de la vapeur d'eau aux différentes températures*, p. 465 a 634.
IX. *Sur les chaleurs latentes de la vapeur acqueuse à saturation sous diverses pressions*, pag. 635 a 728.
X. *Sur la chaleur spécifique de l'eau liquide*, pag. 729 a 748.

(11) Vuole però essere notata una cosa abbastanza curiosa riguardo agli apparecchi del Gay-Lussac. La figura che li rappresenta sui trattati di fisica è una riproduzione di quella che ne dà il Biot — fig. 66, tav. II del *Traité de Physique Expérimentale et Mathématique*, Paris 1816, tomo I —, mentre i disegni che dà il Gay Lussac nelle due tavole della monografia — *i soli da lui pubblicati* — sono differenti. Forse, tuttavia, la cosa si può risolvere ancora in favore dell'autenticità della figura del Biot, poichè questi dice — pag. 182 op. cit., t. I —: « Cet habile physicien — il Gay Lussac — ayant bien voulu me confier le détail de ses expériences, et *me permettre de faire dessiner les appareils qu'il a imaginé pour cet objet*, je vais expliquer.... ». È noto, del resto, che il Gay Lussac fece delle modificazioni alle sue prime esperienze, di cui diede conto al Biot, secondo è detto quanto nelle parole qui riferite.

Questo solo diremo: che da essi — con altre parti del patrimonio scientifico — uscivano bene studiati il termometro a mercurio e quello ad aria, le dilatazioni del vetro, del mercurio e dell'acqua, e — dati importanti in sè,

Gli apparecchi di Dulong e Petit.

Ripr. della Fig. 1 della mem. orig. *Recherches sur le Mes. des Temp. et sur les Lois de la communication de la chaleur*, in *Ann. de Ch. et de Phys.* a 1817, T VII, pag. 113.

Legg. espl. — *ABB'A'* tubo cont. merc.; *MN* robusta sbarra di sost. in ferro; *AB* era circ. da ghiaccio, *A'B'* stava entro un rec. cil. di rame pieno d'olio riscald. med. un fornello; *ED* termom. *a peso* pel quale la temp è calcol. sul peso di mercur. che la dilataz. fa usc. ed è raccolto dalla capsula *L*; *D'E'* termom. ad aria.

importantissimi per la fisica molecolare e per quella teoria dinamica del calore che ha rinnovato la scienza ed ha formato la base di tanta parte del progresso moderno nella tecnica — il coefficiente di dilatazione dei gas *a pressione costante* — quando, cioè, il gas, essendo mantenuto sempre sotto la stessa pressione, si dilata in modo analogo a quello di un liquido e, si potrebbe dire in un certo senso, di un solido — e quello a *volume costante*, nel quale viene preso in considerazione l'aumento di forza elastica determinantesi nel gas allora che viene riscaldato in un recipiente chiuso.

In realtà, in quel periodo — che a tutta ragione si potrebbe dire, ripeteremo, un periodo d'oro per questa e per altre branche della fisica — v'è una data che merita essere segnalata. Il Gay-Lussac nella sua memoria su la dilatazione dei gas aveva dato il valore — 0,375 — di quella media dell'aria tra 0° e 100°, ed aveva detto che tutti i gas si dilatano ugualmente; e simile ad esso, per l'aria, era stato il resultato ottenuto dal Dalton e da Dulong e Petit.

« Nessuno dubitava che cotesto risultato fosse giusto » diremo col Magnus « quando Rudberg a Upsala pubblicò un lavoro su la dilatazione dell'aria atmosferica, che non confermava affatto il numero di Gay-Lussac, perchè le osservazioni di lui davano 0,3646 ». Fu cotesta memoria del Rudberg un vero monito ai fisici, e da essa — 1837 — data quel lavoro di revisione che nel fisico svedese, nel Magnus e nel Regnault trovava i primi grandi esecutori (1).

(1) In realtà la concordanza tra i risultati del Dalton e quelli del Gay Lussac — concordanza che il Dalton stesso metteva in rilievo nel suo nuovo sistema di filosofia chimica, come si rileva a pag. 24 della prima delle memorie citate del Regnault — non esisteva se non per un errore di calcolo nel quale incorse il Dalton stesso. Ed è strano come, malgrado che l'errore venisse subito — nel 1803 — rilevato dal Gilbert nel tomo XIV, g. 267 dei suoi Annali, i fisici abbiano continuato a giurare in quella concordanza fino al 1838, epoca in cui fu pubblicato il secondo lavoro del Rudberg, al termine del quale egli richiama la osservazione del Gilbert.

Che se è vero che anche in qualche risultato del Magnus e del Regnault non v'è pieno accordo — Estratto di lettera del Magnus al Pelouze, in *C. R.* de *l'Ac. des Sc.*, 2° sem. 1842, T. XV, p. 389; — se è vero che il Govi — *N. Cim.*, a. 1871, s. II T. V e VI, p. 186 — e il Ritter, il Lasch, il Kohlrausch, il Moritz — citati dal Govi in quel suo lavoro: *Correz. dei coeff. nella form. per calcol. le ditataz. assolute del merc.*, — ebbero materia per correggere qualche errore materiale nel quale erano incorsi i calcolatori di cui si era servito il Regnault; non è meno vero che si tratta di piccoli errori materiali a cui non fu difficile il rimediare. Il procedimento scientifico ed i dati dell'esperienza sono rigorosi; e questo è il sostanziale. Alla seconda metà del secolo non rimaneva — per tutte le questioni trattate dai grandi fisici nella prima — che un lavoro che si direbbe di raffinatura; lavoro squisito, importante, geniale, ma non tanto sostanziale quanto quello da cui era stato immediatamente preceduto.

È pure il caso di notare come i metodi stessi di quei fisici — segnatamente per i liquidi e per i gas — siano stati di tempo in tempo applicati dippoi: ancora nel 1897 M. Thiesen, K. Scheel, e H. Diesselhorst — *Wiedemann's Ann.*, T. LX, p. 230 — applicavano allo studio della dilatazione tanto complessa dell'acqua quello usato da Dulong e Petit nelle misure su la dilatazione reale — non la apparente, la quale dipende anche da quella del recipiente — del mercurio, e basato, come è ben noto, sul fatto che uno stesso liquido ha, a temperature differenti, differenti densità specifiche, per cui in due recipienti comunicanti ed a temperatura diversa si equilibra a differenti altezze, fornendo così un dato per la calcolazione della densità reale del liquido stesso alle diverse temperature, e quindi per dedurre la dilatazione.

Il *Pavillon de Breteuil* presso Sevres, sede del *Bureau International des Poids et Mesures.*
Dalle pubbl. del *Bureau*, per cortese concess. dell'illustre Direttore, dottor René Benoit, e dell'editore, Gauthier-Villars di Parigi.

Ed ora ad altro campo. Per i solidi la fisica moderna aveva bisogno di metodi singolarmente squisiti. Li rendeva necessari il lavoro affidato dai Governi dapprima al *Bureau International des Poids et Mesures*, negli ultimi anni del secolo a quegli altri Istituti Scientifici che ne sono quasi i figli, sorti, o che vanno sorgendo, in diversi Stati — Germania, Russia, ecc.

Già nel secolo XVIII esso aveva offerto la necessità di misure esatte su le dilatazioni dei solidi: è fatto curioso che — si può dire — solo un secolo dopo ritornasse ad essere molla motrice di studi in cotesto che è tra i campi dell'alta fisica sperimentale.

I metodi singolarmente squisiti e — aggiungiamo — opportuni a cui si è accennato vennero trovati nell'uso dei *comparatori* e di quei *dilatometri* che,

o col nome dell'Abbe, o con quello del Weidmann, che ne ideava una modificazione — *Wied. Ann.* del 1889, T. XXXVIII, p. 453 — per i suoi bei lavori su diverse qualità di vetro, o con quello dell'illustre che ne aveva immaginato il principio geniale — il Fizeau — applicano questo a ricerche ben diverse da quelle — le dilatazioni dei cristalli — a cui era stato destinato in origine.

Nei comparatori — come nel metodo del Ramsden — si confrontano le lunghezze di due regoli, di cui l'uno è mantenuto a temperatura costante, mentre questa si fa variare per l'altro. Al confronto si procede portando successivamente le estremità dei regoli sotto gli obiettivi di microscopi verticali muniti di micrometri; di quelle disposizioni cioè con le quali, mediante fili di ragno od altri simili tratti rettilinei di una suprema esilità — il Bréguet divideva il millimetro in mille parti uguali — e mediante movimenti a vite che permettono di valutare frazioni infinitesime del millimetro, è possibile spingere la misura ad una approssimazione altissima.

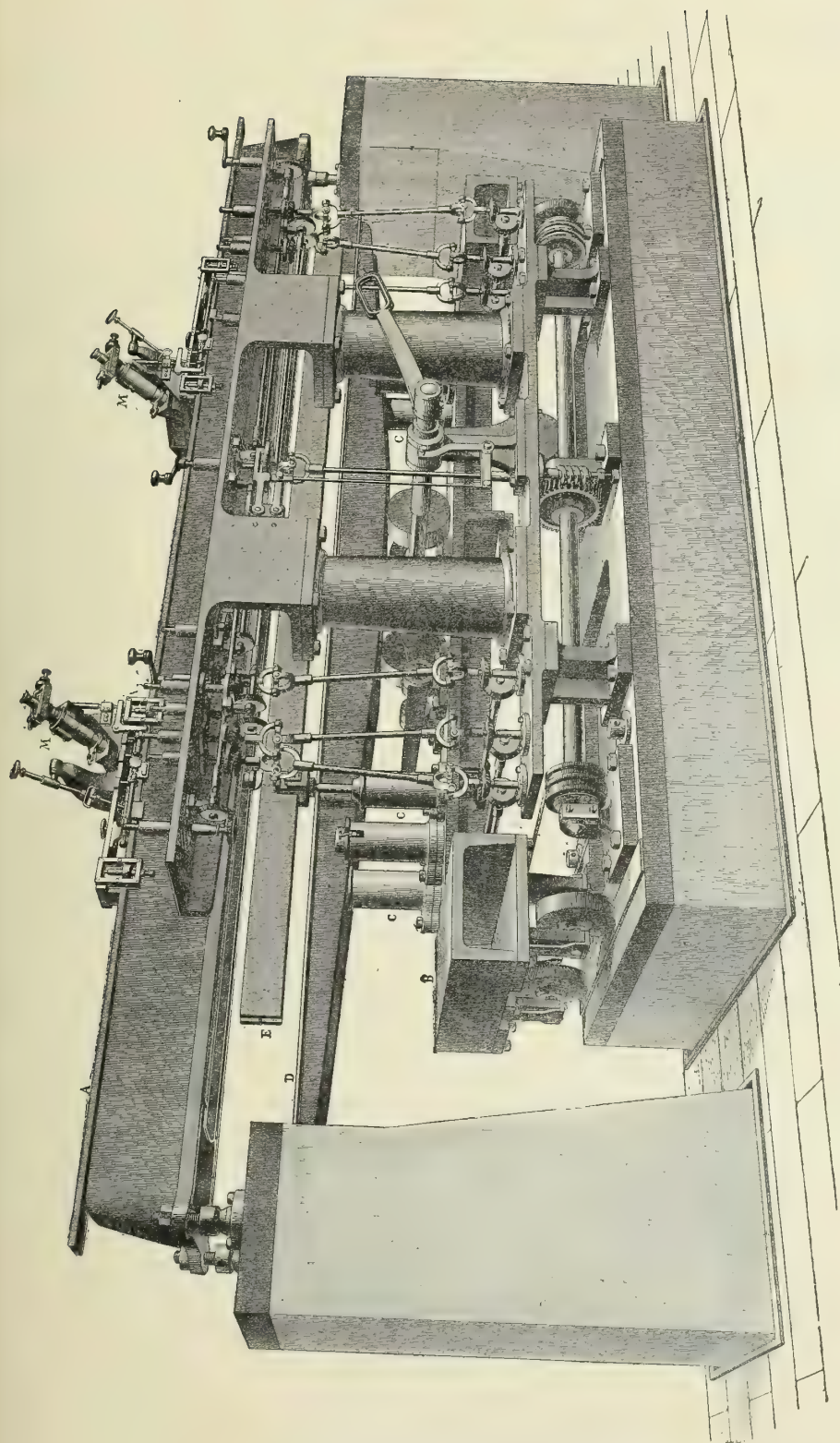
Cotesti comparatori costituiscono veramente una delle meraviglie della meccanica di precisione. Essi permettono spostamenti bruschi e spostamenti affatto impercettibili di cilindri e regoli metallici molto pesanti e di dimensioni — i regoli — perfino di un paio di metri; e tutto ciò senza che gli oggetti sottoposti ad esame siano toccati, e con delicatezza superiore a quella con cui la mano più gentile arriverebbe a muovere una piuma. E avremo dato una idea del grado di precisione che essi consentono nelle misure, quando avremo detto che con essi un operatore esperto può valutare con sicurezza il decimo del millesimo di millimetro!

Non è ancora però, cotesta, la precisione raggiungibile col metodo del Fizeau, da lui ideato per le sue ricerche sui cristalli.

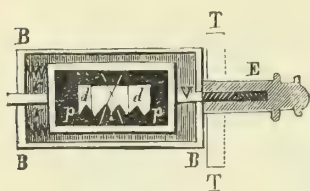
È un metodo di una grande genialità, del quale non possiamo esimerci dall'esporre il concetto fondamentale.

Ove una superficie convessa di lente si trovi accosto ad una parete piana atta a riflettere la luce, così che sia molto sottile lo strato d'aria interposto, se il sistema viene osservato in modo da ricevere la luce appunto per riflessione, ovvero per trasparenza, appare — concentrica al punto in cui la distanza dei due oggetti è minima — una serie di anelli dai colori dell'iride: sono gli anelli colorati del Newton, frange circolari d'interferenza (1) della luce riflessa dall'una e dall'altra faccia che limitano l'esile straterello di aria. Se la grossezza di questo viene a variare, gli anelli si spostano, e cotesto spostamento si ha per variazioni dello spessore nella piccolezza delle quali la mente si perde: basta che essa uguagli la metà della lunghezza dell'onda rossa o gialla o violetta perchè gli anelli si allarghino di tanto che il rosso, il giallo, il violetto di ciascuno prenda il posto dell'analogo colore del successivo. Al fisico è nota la lunghezza dell'onda: egli è dunque in grado di dedurre la quantità di cui ha variato la distanza della lente dal piano sottoposto, anche se questa è una frazione di quella lunghezza tanto piccola che ha l'onda luminosa.

Perchè cotesta misura raggiunga la più grande precisione conviene usare

(1) Introduz. pag., 44.

Il *comparatore universale* di Starke e Kammerer di Vienna, esist. al *Bur. Int. des Poids et Mes.*

Dalle pubbl. del *Bureau*, per cort. concess. del Dirett., dr. René Benoit, e dell'Editore Gauthier-Villars di Parigi.

Legg. espl. — *A*, doppia *poutre* in ferro reggente i due microscopi *M*; *B* grande carro mob. su guide med. nastri di acciaio e regg. tre paia di colonne cave *C*: in queste poss. muov. vertic. i pezzi che port. il regolo diviso *E*, lungo 2 m., ed i due banchi *D* dest. a ricevere i regoli da confrontare. L'istrum. è chiuso entro cust. di legno, munita di cristalli alle parti sup. ed ant., che permett. d'illum. i microscopi e di osserv. i term. Tutte le manovre si eseguisc. dall'esterno.

Un *micrometro* di precisione.
Legg. espl.: — *d,d'* tratti, apparenti nel microscop, dei quali si deve mis. la dist.; tra essi il *crocicchio* di fili — esiliss., di ragno, p. es. — spostab. col telaietto int. med. la vite *V* a passo piccolis.; *TT* tamburo, gir. med. il bott. *E* a perif. div. in num. grandiss. di p. ug.; *PP* pettine per cont. i giri compl. med. il pass. dei denti dav. a *d,d'*. Sapendo il passo della vite, dal numero di giri compl. e dalla fraz. indic. da *TT*, si ded. lo spost. da prod. nel *crocicchio* per portarlo da *d* a *d'* o vic., e quindi la dist. dei tratti.

non la luce bianca, ma una luce non scomponibile in altre, una luce semplice — opportunissima quella gialla del sodio, che si ottiene dalla fiamma dell'alcole salato: — con una luce semplice l'anello luminoso è sottile, ed ha una posizione che l'occhio può precisare molto bene.

La variazione nello spessore dello strato di aria — è evidente — può essere prodotta dalla dilatazione del corpo che forma sistema con la lente; e dallo spostamento delle frange anulari si può argomentare qual'è stata quella dilatazione.

Tale il principio geniale del metodo del Fizeau. In esso la complicazione dei meccanismi, destinati a misurare direttamente la dilatazione, non è più: alle imperfezioni dell'opera dell'uomo è sostituita l'opera geometrica della natura. E quale meraviglia nella piccolezza a cui giunge la misura! « Une lame de cristal de roche — dice l'eminente fisico nella Memoria: *Recherches sur la dilatation et la double réfraction du cristal de roche échauffé*, letta all'Accademia di Parigi il 23 maggio 1864 ed inserita negli *Ann. de Ch. et de Phys.*, 1864, T II., pag. 143 — de 5 millimètres d'épaisseur et dont les faces seraient parallèles à l'axe du cristal, étant chauffée de 10 a 50 degrés, éprouvera, dans la direction normale à ses faces un allongement de $\frac{1^{mm}}{370}$ seulement, quantité qui pourrait encore être manifestée par un déplacement de 9^f, 18 c'est à dire de plus de neuf franges entières ».

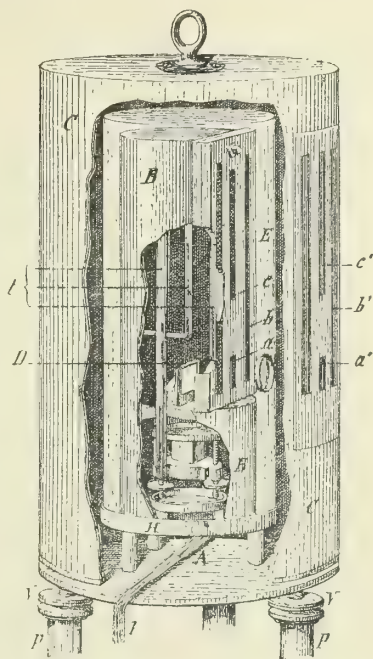
1 2

Gli anelli colorati del Newton.
1. Vetro piano e lente piano convessa.
2. Anelli, quali si vedono iridescenti, ricevendo per riflessione la luce dal sistema della lente e del vetro piano.

Lo spostamento di una frangia intera corrisponde adunque ad $\frac{1}{9}$ di $\frac{1}{370}$ di millimetro! Il Fizeau calcolava così di poter valutare, nella dilatazione, $\frac{1}{33967}$ di mm., e René Benoit, l'eminente direttore del *Bureau Int. des P. et M.*, nel bellissimo studio da lui fatto sul dilatometro di quell'insigne laboratorio — *Travaux et Mémoires du B. Int. des P. et M.* Tomo I, 1881, mem. C. — riconosceva che, disponendo opportunamente le cose, si può « reconnaître una variation de distance — tra la lente e la superficie del corpo sottoposto ad esame — qui atteint seulement $0,^{mm}0000294$, environ $\frac{3}{100.000}$ de millimètre ».

Ecco di quali mezzi dispone la fisica moderna per coteste misure. E sono ancora questi fenomeni di interferenza che, abilmente impiegati — *Trav. et Mém.* citati, Vol. XI — hanno portato ai mirabili studi del Michelson, professore dell'Università di Chicago, sulla lunghezza d'onda emessa dai vapori di cadmio incandescenti quale campione di lunghezza, e — conseguente-

mente — a quello che fu chiamato « l'établissement d'un temoin invariable du mètre », così che, se anche avvenisse la distruzione dei campioni attuali — come accadde di quelli del *yard,* a Londra, per l'incendio al Parlamento nel 1834 — i fisici sarebbero in grado di ricostruirli con tutta la precisione richiesta dalle operazioni a cui devono servire, tra le quali basterà ricordare le misure della superficie terrestre.

Su quest'argomento delle dilatazioni non entreremo in maggiori particolari, per quanto siano interessanti i lavori speciali del De-Lucchi (1) sul sodio, del Frölich (2) sul marmo, dello Zakrzevschi (3) sul ghiaccio, del Bedford (4) su la porcellana, del Villari (5) sul legno nel senso delle fibre e in quello trasversale, del Guillaume sugli acciai al nikel. Nei quali lavori alcuni meriterebbero pure un esame speciale perchè toccano da vicino teorie su la costituzione della materia, quali sarebbero, ad esempio, gli studi con cui il Puschl — *Sitzungsberichte* dell'Acc. di Vienna, a. 1875, sed. del 7 genn., p. 65 — esamina il fatto osservato dallo Schmulewitsch — che il caucciù, mentre si dilata per il riscaldamento ove sia abbandonato a se stesso, si contrae invece quando è sottoposto a tensione; gli altri del Vicentini (6) e dello stesso con l'Omodei (7) su metalli e leghe, del Cattaneo (8) su le amalgame liquide e su le leghe fusibili, e segnatamente quelli del medesimo (9) sul bismuto liquido, in cui, confermando i risultati del Vicentini, nega la contrazione che il Lüdecking — *Wied., Ann.* 1888, T. XXXIV

Il *dilatometro Fizeau* del *Bur. Int. des Poids et Mesures.*

Dalle pubbl. del *Bureau,* per cortes. concess.

Legg. espl. — *C* campana in rame fod. di feltro, *E* campana in cristallo, *B* invol. in rame.

Nell'interno il tripode di platino iridiato — a piedi a vite — che porta il pezzo da studiare, e su le viti la lente piano-convessa di cui la faccia inf. è destin. a prod. con la sup. del pezzo da stud. gli an. col.

---

(1) « Sulla dilatazione termica del sodio allo stato liquido. Ricerca sperimentale ». *Atti del R. Istituto Veneto* 5.ª s., T. VI pag. 445, a. 1879-80.

(2) *Notiz über den Wärmeausdehnungscoefficienten des weissen Marmors aus Carrara.* Budapest, *Physik. Inst. d. Univers.,* 8 Febr. 1897 in *Wied. Ann.* a. 1897, T. LXI, p. 206.

(3) Comunicaz. all'Accademia delle Scienze di Cracovia *Ueber das specifische Gewicht und die Schmelzwärme des Eises,* Berlino, *Physik. Inst. d. Univ.,* giugno 1892, in *Wied. Ann.* a. 1892 T., XLVII, p. 155.

(4) *Expansion of Porcelain with Rise of Temperature, Phil. Mag.* a. 1900, T. XLIX, p 90.

(5) « Ricerche sperimentali intorno ad alcune proprietà fisiche del legno tagliato parallelamente e perpendicolarmente alle sue fibre ». *Rendic. della R. Ac. d. Sc. Fis. e Matem. di Napoli,* 1867, fasc. III, pag. 124.

(6) « Sulla var. di vol. di alc. metalli nell' atto della fusione e sulla dilat. termica degli stessi allo st. liq. » *Atti della R. Ac. delle Sc. di Torino,* a. 1886-87, T. XXII p. 28.

(7) Id. id. XXII, 1886-87 p. 712. — « Sulla densità di alcuni metalli allo st. liq. e sulla loro dilataz. term. ». Atti della R. Ac. d. Sc. di Tor., a. 1887 88, T. XXIII p. 38; « Sulla dilataz. term. delle leghe di piombo e stagno allo stato liquido » — tre note — *Rendic. della R. Acc. dei Lincei,* a. 1887, T III, 2.° sem. p. 235, 294, 321; e sulla dil. term. di alcune leghe binarie allo stato liq. — cinque note — *Rendic. della R. Acc. dei Linc.,* a. 1888, T. IV, I sem. p.718 e 805, II sem. p. 19, 39, 75.

(8) « Sulla dilataz. term. di alc. amalg. allo stato liq. » *R. Acc. d. Sc. di Torino,* sed. del 23 marzo 1890, in *Atti,* a. 1889-90, T. XXV p. 442. « Sulla dil. term. delle leghe fac. fusib., allo stato liq. » in *Nuovo Cimento,* a. 1891, serie 3.ª, T. XXIX, p. 13.

(9) « Dil. term. del Bismuto fuso vicino alla temp. di fusione » in *Rendic. della R. Acc. dei Linc.,* serie IV, T. VII, p. 88, genn 1891.

p. 23 — asseriva prodursi appunto nel bismuto un po' sopra il punto di fusione, appuntando il Vicentini del non averla avvertita.

Due cose però dobbiamo assolutamente notare.

L'una riguarda la copia di studî sperimentali ed anche analitici sulle dilatazioni del vetro, sul suo comportarsi nelle diverse condizioni di riscaldamento a cui è sottoposto, sui suoi residui di dilatazione e di elasticità. Ne fu ragione principale la termometria di precisione, e valse — perchè li rendeva di vera utilità — a moltiplicarli la creazione di una quantità di tipi di vetri e cristalli — differenti per composizione chimica e per trattamento fisico, nei quali i produttori cercarono sodisfare alle esigenze — svariatissime — appunto della termometria di precisione, dell'astronomia, della microscopia, della fotografia — divenuta scienza vera essa stessa e prezioso strumento di ricerche —. L'essere poi ben definiti e classificati cotesti tipi di vetri e cristalli dà ai risultati degli studî relativi ad essi un carattere di applicabilità, che mancava ai vecchi studî analoghi, quando ai risultati delle esperienze non potevano accompagnarsi che indicazioni vaghe sul tipo di vetro a cui si riferivano — come vetro verde, cristallo o simili —.

L'altra è la quantità veramente enorme di lavori su la dilatazione e sul massimo di densità dell'acqua e delle soluzioni acquose — tra cui, per la loro natura, vogliono menzione speciale quelle di sostanze organiche — Il solo elenco di cotesti lavori, dagli ultimi, — come quelli di De-Coppet, Cinelli, Moretto, Chappuis, De Lonnoy, Lussana, Amagat, Forch, Scheel, Maly, Peterssberg, Marek — rimontando anche solo per un trentennio a quelli di Folgheraiter, Nichols e Wheeler, Exner, per giungere almeno fino a quelli classici del nostro Rossetti, riuscirebbe di mole soverchia per queste pagine, alle quali sarebbero poi anche inadatti, quantunque lo sarebbero meno di lavori di altro genere su gli stessi argomenti o su le dilatazioni dei liquidi in generale, quali quelli del Thorpe, del Rücker, dell'Avenarius, del Mendeleeff — miranti a riassumere i risultati dell'esperienza in formole matematiche rappresentanti le leggi dell'andamento del fenomeno — o gli altri — quali quelli del Bartoli e Stracciati, del Grimaldi, del Jouck — che delle formole stabilite da quei fisici si proposero la discussione.

1 2

Esperienze del Tyndall, su le dilataz. dei solidi.

Riprod. delle fig. 24 a pag. 80, e 25 a pag. 86 del vol. del Tyndall, vers. del Moigno « *La chaleur considérée comme un mode de mouvement* », Parigi, Giraud, 1864.

Legg. espl. — Fig. 1. Dilataz. lineare. — Incandescenza di una spirale *C* di platino mediante la corrente elettrica che la pila *D* può dare solo quando una sbarra metall. *pp'* dilatandosi per riscaldamento viene a toccare due lam. metall. poste all'int. del sopp. in legno *AB*.

Fig. 2. La contrazione del caucciù teso quando è riscaldato. — Un indice leggiero e lungo, solidale con l'estr. inf. di un lungo tubo di caucciù teso vertic. da un forte peso, si muove in modo da indic. accorciam. del caucciù quando una lamp. ad alcole determ. una corr. di aria calda nel camino C avvilupp. il caucciù stesso.

Di tutto cotesto lavorio, di cui siamo andati parlando, rimangono leggi di fenomeni, le quali riassumiamo per dire quale era lo stato delle cognizioni in cotesta materia alla fine del secolo XIX.

Su le dilatazioni dei solidi e su quelle dei liquidi, accertato che la dilatazione si fa più rapida col crescere della temperatura; che essa è maggiore nei liquidi che non nei solidi; che l'incremento è più rapido nei primi che non negli altri; che diviene relativamente enorme, nei liquidi *soprascaldati*, mantenuti cioè sotto forte pressione a temperatura più elevata di quella del loro punto di ebollizione: il fatto che il Thilorier diceva « strano e paradossale » di un liquido dilatabile più che gli stessi gas — fatto ch'egli aveva riscontrato su l'anidride carbonica, la quale, liquida, da 0° a 30° aumentava quasi di una metà del suo volume — venne confermato dal Drion e da coloro che sperimentarono dippoi.

Relativamente ai gas, i coefficienti di dilatazione si vanno avvicinando ad essere uguali, quanto più bassa è la pressione alla quale si trovano, il che equivale a dire, quanto più il gas è rarefatto, ossia vicino alle condizioni di un gas perfetto: come più sono grandi, invece, le pressioni tanto più si diversificano — ed aumentano — i coefficienti di dilatazione. Si direbbe che il gas estremamente rarefatto rappresenti, per cotesto lato, una sostanza nella quale il calore è libero di agire senza contrasto di altre forze molecolari, e che in coteste condizioni esso, libero padrone delle molecole, operi su di esse secondo un'unica norma universale.

Il termometro del Michelson.

Ripr. della fig. 1 della monogr. orig. del Michelson « *Nouveau Thermomètre très-sensible* » in *Journ. de Phys.*, a. 1882. pag. 183.

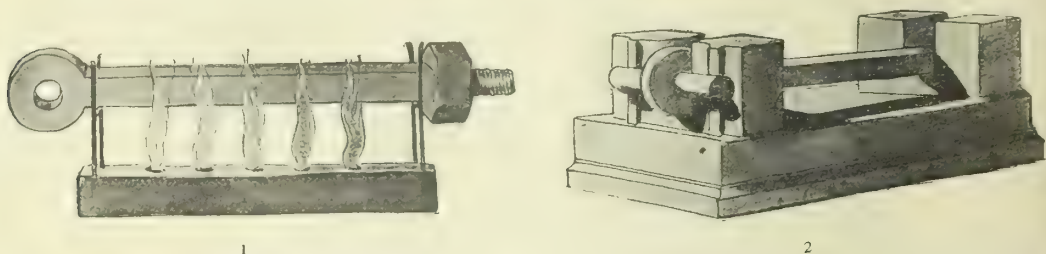
Legg. espl. — G scat. met.: in essa è fissa una lamina sottiliss. rettang. di caucciù di 50 mm. per 1 mm. — applicata contro una lam. sim. di rame. — Un esr. — mobile — della lam. doppia porta un filo sottiliss. di vetro. rip. ad ang. retto e la cui estr. poggia contro lo specc. piano M, ad 1 mm. dal filo teso, di bozzolo, a cui è fisso. Le variaz. di temp. determ. fless. nella lam. che si traducono in deviaz. di un raggio di luce rifl. dallo specchio.

Su l'acqua, il massimo della densità risulta un po' al disotto dei 4° centesimali — 3°,928 — arrotondando il valore che il Broch nei *Travaux et Mémoires du Bur. Int. des P. et M.*, Vol. I, mem. A. pag. 61, desume dalla formola di Herr riassumente i risultati medî di Munche, Stampfer, Kopp, Pierre —; e su l'acqua di mare e le dissoluzioni saline sappiamo che esse pure presentano un massimo di densità ad una temperatura la quale si abbassa — al di sotto di quella analoga dell'acqua pura — più rapidamente che non il punto di congelazione, e — dalle esperienze del Rossetti — che cotesti abbassamenti non sono — come il Despretz credette di poter concludere dalle sue — proporzionali alle quantità di sale disciolto.

Quanto alle ragioni di queste anomalie e delle altre offerte dai cristalli, dal caucciù, dal solfo, nulla possiamo dire di preciso. Le ipotesi escogitate a spiegarle sono certo ingegnose; valga ad esempio quella del Röntgen relativa allo strano e provvidenziale comportarsi dell'acqua. L'eminente fisico tedesco — *Constitution des flüssigen Wassers, Wied. Ann.*, a. 1892, T. XIV, p. 91 — avanzava l'ipotesi che l'acqua sia formata da due specie di molecole. Queste sarebbero, naturalmente, *isomere* — identiche, cioè, per elementi costitutivi e per rapporto di essi, diverse per alcune proprietà — e la loro proporzione varierebbe con la temperatura. La trasformazione di quelle di una specie — più abbondanti

alle basse temperature — in quelle dell'altra, sarebbe accompagnata da contrazione, superante la dilatazione termica al disotto di 4° , superata da essa aldisopra. Ipotesi ardita, ingegnosa anche, ma, come le altre analoghe, pur sempre ipotesi. Nulla — lo ripetiamo — di bene definito su le cause di coteste anomalie.

Di quel grande lavoro rimangono pure copiosissimi i dati sperimentali ed i metodi, e — con le leggi, i dati ed i metodi — aperta la via ad una grande

1 2

Esp. di corso su la potenza di contrazione dei solidi per raffreddamento. Spezz. di un cilindretto di ferro fuso per contraz. di una sbarra di ferro.

Legg. espl. — Fig. 1. Riscaldamento della sbarra.

Fig. 2. Robusto blocco in ghisa — in un solo pezzo con i quattro montanti — disposto per l' esperienza. La sbarra è messa in posto dopo che venne riscaldata : messo in posto anche il cilindr., questo viene stretto contro i due montanti di sinistra med. la controvite rapp. a destra nella fig. 1. Nel raffreddamento la sbarra si contrae, ed il cilindretto si spezza nel mezzo. Conviene bagn. con acqua fredda la sbarra per rendere più rapida la contraz. —. Lungh. della sbarra circa 20 cm.; diam. del cilindretto cm. 1,5; distanza degli spigoli interni, contro cui il cilindr. è premuto, cm. 4,5.

squisitezza nello sperimentare, della quale avremo dato un'idea, quando avremo ricordato lo studio abbastanza recente — *Procedés des pesées precises ou métrologiques* del Mendeleeff — riass. in *Journ. de Phy.*, 1897, s.e 3.a, T. VI, p. 613, dal Vol. II degli *Ann. de la Chambre Centr. des Poids et Mes. de la Russie* — su le azioni deformatrici che le dilatazioni termiche esercitano sui flagelli delle bilance e su le conseguenti variazioni della sensibilità di esse; studio in cui sono indicati procedimenti, mercè i quali è possibile, pur con un carico di un chilogrammo, riconoscere il millesimo di milligrammo, cioè la *millesima parte di un milionesimo* del peso totale.

In un campo ben più modesto, nobile però esso pure — in quello delle esperienze di corso — ricorderemo che erano tuttora di uso generale il *pirometro lineare* e quello *ad anello* dello S' Gravesande, e si ripeteva sempre l'esperimento degli Accademici del Cimento del *salto del termometro* — fugace abbassarsi del liquido, nel cannello, quando si tuffa rapidamente un serbatoio termometrico in un bagno di acqua calda. — Ed oltre che di quelle ed altre pure vecchie, l'insegnamento disponeva di molte nuove di cui ricorderemo alcune.

Il russo Kapoustine immaginava un modo molto semplice per rendere evidente la dilatazione lineare: l'estremo libero di un regolo metallico — fisso all'altro — poggia sul fianco di un ago da cucire poggiante a sua volta sur un piano di vetro; se il regolo si dilata, l'ago è obbligato a rotolare e, se reca all'estremo un indice perpendicolare al suo asse, il rotare di cotesto indice rende evidente la dilatazione del regolo.

Elegante la disposizione del Tyndall, con cui il regolo metallico nel dilatarsi chiude il circuito di una pila, e la corrente di questa rende incan-

descente una spirale di platino. Bella pure quella dello stesso fisico inglese per dimostrare il contrarsi del caucciù teso quando venga riscaldato; ed originale il termometro del russo Latschinoff, a serbatoio di ebanite, col quale il mercurio comportandosi apparentemente al rovescio del modo con cui lo vediamo comportarsi nel termometro ordinario — con lo scendere, cioè, nel cannello se la temperatura si eleva, con l'alzarsi ove essa si abbassi — dimostra la proprietà — riscontrata primamente dal Kohlrausch — che la dilatabilità dell'ebanite supera quella del mercurio. Ed allo stesso scopo dimostrativo potrebbe essere disposto il pendolo a compensazione dello Smith, in cui la dilatazione della lunga asta di acciaio è compensata da quella di un corto manicotto in ebanite, e potrebbe servire il termometro del Michelson in cui il deformarsi di una esilissima laminetta di caucciù indurito, stesa su un'altra di rame con la quale fa corpo, provoca — mediante un filo di vetro ripiegato a squadra e poggiante per un estremo contro ad uno specchietto sospeso ad un filo di bozzolo — il deviare di un raggio luminoso che si faccia riflettere dallo specchio. Di una evidenza che colpisce, le dimostrazioni della grandezza delle forze agenti nelle variazioni di dimensione dovute al variare della temperatura, quali si danno col provocare lo spezzarsi — perpendicolarmente all'asse — di un robusto cilindretto di ghisa, per contrazione di una sbarra di ferro che si raffredda; o, come ideò Ferdinando Tommasi — *Journ. de Phys.*, 1887, s.e 1.a T. VI, p. 149 — col produrre, mediante dilatazione, per riscaldamento, di una piccola quantità di olio — 50 centim. cubi — la asportazione — quale si potrebbe avere con un foratappi da un sottile pezzo di sughero — di un cilindretto dal centro di una spessa lamina di piombo — messa a chiudere un robusto recipiente di ferro contenente l'olio, e mantenutavi contro l'orlo da un coperchio a vite, forato al centro appunto per dar passaggio al cilindretto di piombo. —

L' esp. del Tommasi su la potenza nella dilataz. dei liquidi.
Ripr. della fig. 1 della monogr. origin. del Tommasi « *Sur une nouv. appl. industr. de la chal. dite le moteur thermodynamique* » in *Journ. de Phys.* 1877, pag. 149.
Legg. espl. — L'olio che riempie una robusta canna di ferro — — lungh. 1 m., diam. int. 8 mm. — dilatandosi per riscald, fa schizzar fuori come se fosse tracciato un cilindretto di piombo da una rob. lam. che chiude ermetic. la canna ed è assic. med. rob. tappo in ghisa, a vite.

Passando ora alla termometria, ne avremo riassunto la storia durante il secolo XIX, quando avremo detto che in esso ne furono completamente rinnovate ed ampliate le basi.

Di cotesto rinnovamento il principio vero sta in quello *spostamento dello zero* dei termometri la cui scoperta venne, e viene ancora da molti attribuita al Despretz, sebbene egli stesso nella sua classica memoria; *Observations sur le deplacement et sur les oscillations du zéro du thermomètre*; *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1837, T. LXIV, p. 312 — dicesse in nota « Bellani en Italie, Flaugergues en France, on fait connaître les premiers l'ascension du zéro avec le temps ».

Veramente — del Flaugergues non parliamo perché scrisse quattordici anni dopo il primo lavoro del Bellani, ed aveva osservato meno, anzi poco, ed anche il poco non aveva sempre interpretato bene — il canonico Angelo Bellani, buon meteorologo e fisico abile anche nel costruire termometri, aveva fatto qualcosa di più di quanto è indicato dal Despretz.

Intanto è a notarsi come lo avesse preceduto di poco meno che trenta anni, poichè il primo lavoro del Bellani venne pubblicato, nel *Giornale di fisica* di Pavia, fino dal 1808. In secondo luogo vuole essere avvertito che in quello — e più in un altro articolo inserito nello stesso periodico — a. 1822 — e recante il medesimo titolo del primo — « *Dell'incertezza nel determinare il punto del ghiaccio nei termometri* » si trovano copiose e finissime osservazioni ed esperienze, ed uno studio abbastanza profondo del fenomeno e di molte delle circostanze che vi influiscono. Che se le esperienze del Despretz hanno provato come il restringersi del bulbo termometrico può continuare anche per quattro o cinque anni, mentre il Bellani gli assegnava il limite di un anno, spetta pur sempre al fisico italiano il merito di priorità nella osservazione della parte principale del fenomeno e dell'avere visto con molta sagacia come la cagione fosse da ricercarsi nei lentissimi moti molecolari del vetro. E vuole ancora aggiungersi come nel secondo degli scritti citati sia indicato un altro dei fatti per cui si è data importanza alla monografia del Despretz, quello della mutazione — nella posizione dello zero — che si presenta quando il termometro sia soggetto a variazioni di una certa entità nella temperatura (1).

Nè basta ancora quanto a benemerenze del Bellani rispetto alla termometria. In quella moderna di precisione si tiene conto — oltre che della pressione esterna operante sul bulbo, e che, diminuendone la capacità, fa salire il liquido nel cannello più che non dovrebbe per la sola azione del calore — anche di quella opposta che esercita cotesta colonna sul liquido del serbatoio, e che tende invece ad aumentare la capacità di questo, rendendo per siffatto modo più bassa della vera la temperatura che si legge: e per i termometri di alta precisione — in cui v'è la necessità di rendere molto lungo lo spazio corrispondente ad un solo grado, al fine che se ne possano leggere frazioni molto piccole — si munisce il cannello di rigonfiature, nelle quali possa — su breve lunghezza — raccogliersi il liquido per quegli intervalli di temperatura per i quali il termometro non è destinato, riducendosi così la lunghezza del cannello, che, senza cotesto artificio, diverrebbe incompatibile con la praticità del maneggio, e, talora anche, col rigore delle osservazioni.

Ora, nel secondo dei lavori citati del Bellani — pag. 34 e 35 — è accennato in modo chiarissimo al vario valore che l'azione antagonista della

(1) A due specie di irregolarità — scrive il Bellani — è dunque soggetto il termometro, provenienti però dalla medesima causa: la prima che è la più notabile... comincia a manifestarsi subito dopo la costruzione dello strumento e va crescendo fino ad un certo punto in cui rimane stazionaria.

... La seconda irregolarità è bensì minore, ma si rinnova più o meno ogni volta che precede un divario di temperatura alquanto notabile... Uno di quei termometri fu passato rapidamente dal grado dell'acqua bollente al ghiaccio in fusione, e segnato diligentemente il punto a cui si abbassò il mercurio: e continuando a rimanere dentro lo stesso ghiaccio (essendo la temperatura dell'ambiente di poco superiore) dopo 6 ore si cominciò a manifestare un principio d'innalzamento nel mercurio, che dopo due giorni di soggiorno costante ne ghiaccio salì ad $^1/_{10}$ di grado. Raffreddato un altro da gradi 150 a 0 si abbassò sotto il punto che prima indicava la detta temperatura di $^4/_{10}$ di grado e un altro da 300 a 0 discese più sotto di $^7/_{10}$. Da questa imperfezione ne risulta una strana conseguenza, cioè che dati due liquidi di diversa temperatura il termometro indicherà una maggiore differenza se s'immergerà nel liquido caldo prima del freddo, cioè se passerà prima dal caldo al freddo, che non dal freddo al caldo; giacchè a me non consta che quell' inerzia o rigidità delle molecole integranti e cristallizzate del vetro che rallenta il loro mutuo accostamento nel passaggio da un'alta ad una bassa temperatura, debba operare anche in senso opposto coll'opporsi al rispettivo allontanamento di dette molecole operato dal calorico comunicato ».

pressione interna ha secondo che il termometro è collocato verticalmente ed orizzontalmente (1), e si dà la figura di termometri che il Bellani, per istudiare il fenomeno dello spostamento dello zero, si costruiva appunto con rigonfiamento atto a raccogliere il liquido per gli intervalli di temperatura che a lui non interessavano « per rendere gli effetti più sensibili » e perchè « dovendo esaminare soltanto le minime variazioni ch' erano per succedere intorno al punto della congelazione, questa lunghezza del tubo era sufficiente senza l'ingombro di un lunghissimo tubo ».

Tra i nomi più degni della considerazione nella storia della termometria deve pertanto essere posto cotesto del Bellani, che è nome di vero precursore per idee e per esperienze. Certamente — sarebbe assurdo il pretenderlo — non v'è nell'opera del Bellani nemmeno l'idea di uno studio scientifico ampio quali quelli del Marchis — *Les modifications permanentes du verre et le deplacement du zéro des therm.*, riass. dall'aut. stesso in *Journ. de Phys.*, 1898, p. 573 e 1899 p. 193 —: ma quando — per citare un altro lavoro della fine del secolo nel cui principio sperimentava il Bellani — il Boudin — *Comptes Rendus de l' Ac. des Sc.*, 1892, T. CXV — trovava che la depressione dello zero conseguente da esposizione del termometro ad un'alta temperatura è tanto meno sentita quanto più a lungo era durata la ricottura del vetro, non faceva che accennare ad un comportarsi del vetro sul quale il Bellani insiste.

Un termometro del Bellani. Esemplare esistente nel gabinetto di Fisica dell'Ist. Bognetti-Boselli e Liceo Libero Manzoni di Milano.
Da un lato, ingrandimento di una parte della scala, firma autografa del Bellani, e data — 1817 — È ad alcole tinto in rosso, e la scala si estende tra — 16° e + 80°.

Vogliamo dire, in una parola, che, se i lavori di lui non avessero avuta la sorte comune a tanti altri, anche più importanti, di italiani — quella cioè di non essere curati nè in casa nè fuori — la termometria avrebbe guadagnato un mezzo secolo.

Così avvenne che essa dovesse attendere il lento succedersi di quelli che furono ricordati a proposito degli studi su le dilatazioni del mercurio, dei liquidi in genere, dei gas: lavori che valsero però a portarla ad un grado già notevole di precisione, ed a metterla su le basi su cui operarono i moderni, indotti dal grado di precisione, richiesto ormai — in un ordine di misure tanto importanti — e dalle esigenze — oltre che della termologia e delle industrie — della metrologia, dell'ottica, della elettricità, della fisiologia, della meteorologia, di tutte le branche, possiamo dire, della filosofia e della storia naturale; tra le quali — come molla motrice di ricerche nel campo di me-

(1) « Se alla sola continuata pressione atmosferica su le cedevoli parti dalla bolla di un termometro chiuso ermeticamente e privato internamente d'aria fosse dovuto l'innalzamento del mercurio che si osserva qualche tempo dopo costruito, ne verrebbe per conseguenza che quanto più si riscaldasse la detta bolla, più efficace sarebbe l'azione di detta pressione, non essendo sufficiente l'altezza dell'interna colonna del mercurio nei termometri di mediocre lunghezza a controbilanciarla (*e meno poi quando si tenesse il termometro orizzontale invece di verticale*): eppure avviene il contrario . . . »

todi di squisitezza estrema per la determinazione della temperatura — vuole essere ricordata in particolare l'*astrofisica*, la scienza nuova, cui è còmpito — ardito — l'esame delle condizioni fisiche di mondi immensi, tanto lontani da noi da esserne l'apparenza, nella quasi totalità, ridotta, per l'occhio nostro, ad un punto.

A coteste esigenze si devono quei lavori del Guillaume (1), del Chappuis (2) del Pernet (3), che costituiscono dei veri trattati classici di termometria di precisione, e gli altri del Berthelot (4), di Jaeger e Gumlich (5), del Chree (6), che o dilucidano punti importanti, od offrono esempi pratici di studio ed uso di termometri: od anche — vedansi p. e. nella *Zeitschrift für Instrumentenkunde* volume X, 1890, quelli del Marck, del Fusche, di Wiche e Böttcher — proponendosi confronti di termometri diversi, danno informazioni preziose sul comportamento di un termometro — entro i diversi intervalli di temperatura — secondo che è costruito con l'uno anzi che con l'altro dei tipi di vetro di Iena, con vetro di Turingia piuttosto che con cristallo inglese.

Termometri moderni di precisione.

Ripr. dalla fig. 10, pag. 33, della monog. del Guillaume « *La Convention du Mètre et le Bur. Int. des Poids et Mesures* » Parigi, Gauthier-Villars, 1902. Per cort. conc. della on. Dir. del *Bureau Int.*

Legg. espl. — I term. hanno un rigonf. dest. a racc. in breve tratto il liq. per un dato interv. di temp.: possono così avere una grande lungh. del grado per l'intervallo di temp. a cui sono destinati, senza che la loro lungh. div. eccessiva. Quelli rapp. dalla fig. servono rispett. per gli interv. 0 a 50; 50 a 100; 100 a 200; — 44 a — 4; 0 a 10 e 50 a 100.

Del termometro a mercurio — per venire a particolari — non esporremo il modo al quale si è giunti nella costruzione, giacchè la dà ogni trattato anche elementare.

Alcune cose però dobbiamo pur notare.

Mentre per lungo tempo si credette ovviare alle inevitabili differenze di diametro delle diverse parti, col segnare le divisioni del cannello in modo che corrispondessero a parti di uguale capacità, ora la divisione è fatta in parti di uguale lunghezza, e si costruisce poi — con un procedimento ingegnoso e valendosi di un calibratore a microscopi — un diagramma, dal quale si rilevano le correzioni da farsi alle letture termometriche per ottenere le temperature che il termometro avrebbe indicato ove fosse stato perfettamente calibro (7).

(1) *Études thermomètriques.* — *Travaux et Mém. du Bureau Int. des P. et Mes.*, T. V.

(2) *Ét. sur le Therm. d gaz et comp. des therm. d mercure avec le therm. d gaz.* — *Trav. ei Mém.*, T. VI.

(3) *Sur les moyens d'éliminer dans l'évaluation des températures l'influence de la variation des points fixes des therm. d merc.*, *Trav. et Mém.*, T. I.

(4) *Sur les therm. calorimètriques,* Journ. de Phys., serie 1, T. II. a. 1873 p. 18.

(5) *Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch. Technischen Reichsanstalt*, Vol. 1, 1894.

(6) *Notes on Thermometry, Phil. Mag.* s. 5.ª, T. XLV, 1898, pag. 299.

(7) « . . . Si comincia, scrive il Guillaume — *La Convention du mètre et le Bureau Int. des Poids et Mesures*, estr. dal *Bull. de la Soc. d'Encour. pour l'Ind. Nat.* T. CI, Parigi, Gauthier-Villars, 1902, pag. 31 — dall'isolare all'interno del tubo, operazione che richiede una certa pratica, una colonna di mercurio avente una

Per il punto 100 — che si determina preferibilmente in una giornata in cui il barometro non presenta grandi oscillazioni — l'apparecchio è quello stesso del Regnault, a cui però lo Chappuis portò qualche modificazione anche al fine di permettere di disporre il termometro sia verticalmente, sia orizzontalmente, ed ottenere così la posizione del 100° quando agisce e quando non agisce la pressione — tendente a dilatare il serbatoio — della colonna di mercurio contenuta nel cannello.

Lo zero si determina per immersione del termometro in ghiaccio finamente raspato, abbondantemente bagnato di acqua e contenuto in un recipiente di vetro a doppia campana.

Recentemente — 1897 — Harker — *On the determination of Freezing Point, Proc. of the R. S. of London,* T LX, p. 154 — proponeva di determinarlo mediante immersione del termometro in acqua mantenuta liquida al di sotto dello zero stesso, e di cui si provocasse la congelazione per immersione di un cristallino di ghiaccio; metodo, col quale l'Harker raggiunse l'approssimazione dai 3 ai 4 *decimillesimi di grado*, con salti di temperatura di 2 o 3 gradi.

E su lo zero non può tacersi che studi accurati hanno provato come non siano indifferenti nè la qualità nè il modo di preparazione del ghiaccio. Il Pernet, volendo verificare alcune osservazioni del Krebs e dello Schultz, sperimentando con un termometro molto sensibile, ed usando successivamente neve fondente, ghiaccio artificiale raspato — taluna volta misto ad acqua, tale altra lavato con molta acqua, ovvero con poca acqua, tal 'altra ancora non

lunghezza approssimativamente determinata in precedenza e prescritta da un diagramma particolare. Si pone il termometro sul *calibratore*, e, mediante i cannocchialetti, si determina la lunghezza della colonna in diversi punti del tubo, rapportandola alla divisione preventivamente segnata sul termometro con la macchina di divisione. Questa operazione é fatta nell'andata e nel ritorno, per eliminare le variazioni di temperatura e nelle calibrature importanti si ripete parecchie volte... Per avere un controllo si ripetono le misure con una colonnadi lunghezza doppia, poi con una di lunghezza tripla, ecc. e si combinano in seguito tra loro tutte le osservazioni. Poi, per finire, si suddividono il più sovente in un certo numero di parti le sezioni, le cui correzioni estreme vennero così determinate.

Per esempio, quando un termometro porta una divisione non interrotta da 0 a 100, si isola dapprima una colonna di 20 gradi, poi una di 40, ecc. e si fanno le osservazioni nelle posizioni seguenti:

Colonna di 20	Colonna di 40	Colonna di 60	Colonna di 80
0.20	0.40	0.60	0.80
20.40	20.60	20.80	20.100
40.60	40.80	40.100	
60.80	60.100		
80.100			

Si hanno così le correzioni dei punti 20,40,60,80, supposte note quelle dei punti 0 e 100.
Poi si isolano delle colonne di 2 gradi, 4 gradi, ecc. che servono alla osservazioni seguenti:

Colonna di 2	Colonna di 4	Colonna di 6	Colonna di 8
0.2	0.4	0.6	0.8
2.4	2.6	2.8	2.10
4.6	4.8	...	...
6.8	...	14.20	...
...	16 20		
18.20			
20.22	20.24	20.26	...
22.24	22.26	22.28	
....	....	....	

Quando da cotesto insieme importante di osservazioni, si sono dedotti i valori delle correzioni di 2 in 2 gradi, si traccia una curva che li riunisce in una maniera continua, e su la quale si leggono le correzioni di tutte le divisioni, generalmente in decimi di grado ».

lavato — e finalmente del ghiaccio pesto non lavato, ebbe lo zero rispettivamente di 11, 17, 130, 162, 519 e 919 decimillesimi di grado più basso che determinandolo con la immersione in acqua privata d'aria che faceva congelare.

Noteremo ancora che il fisico deve determinare i *coefficienti di pressione* esterna ed interna: il primo per l'influenza che esercitano su l'altezza del mercurio nel cannello la pressione — variabile sempre — dell'atmosfera e quella dei liquidi nei quali il termometro fosse affondato o dei gas nei quali si trovasse immerso; il secondo per la influenza della colonna di mercurio contenuta nel cannello — come fu già accennato —.

Infine vuole essere studiata l'azione deprimente che esercita la piccola superficie curva terminante la esile colonnina del mercurio — azione varia, perchè varia è la forma di cotesta superficie, difficile ad essere determinata —; tanto importante, poi, che pone un limite a quell'allungamento del grado termometrico a cui mira la termometria di alta precisione, perchè — diremo col Guillaume — « plus le tube est fin, plus ces actions sont marquées; et, comme il n'est jamais possibile de les éliminer complétement, on atteint bientôt des erreurs supérieures à celles des lectures ».

Termometri costruiti con identiche qualità di vetro, e di cui siano state determinate tutte coteste correzioni forniscono indicazioni che si possano praticamente ritenere concordanti; lo Chappuis nel 1885 otteneva — tra -10° e + 78° una concordanza superiore al millesimo di grado.

Un termometro di precisione del Bellani per picc. interv. di temp. Serve per l'interv. da — 1 a + 1: una grossa bolla *D* racc. l'eccesso di liq. quando la temp. è sup. a + 1.
Ripr. della Tav. IV acc. la mem. orig. del Bellani « Dell'incertezza nel determ. il punto del ghiaccio sui termom. » In Bim. IV. 1832, del *Giornale di Fisica*, ecc. di Pavia.

Per quanto grande, la precisione che dà il termometro a mercurio non basta oggi al fisico, e nei laboratori importanti il termometro a mercurio non costituisce che un *campione secondario*: il vero termometro campione è a gas, e precisamente ad idrogeno. Questo, infatti, per considerazioni teoriche molto concludenti, si deve ritenere abbia nei limiti ordinari di temperatura la maggiore regolarità di dilatazione, ed è perciò preferito, sebbene non manchino esempi di esperienze importanti — come quelle a temperature elevate fino oltre i 1700° istituite da Meyer e Langer nel 1888 — eseguite con termetro ad azoto, e — per rimanere nel campo del termometro ad azoto — il Tendt — *Journ. de Phys.*, a. 1900, p. 231 — abbia provato come l' azoto chimicamente puro presenti una dilatazione molto più regolare dell' aria — che pure — come corpo termometrico — fu tenuta per molto tempo in tanto pregio.

Cotesti termometri a gas sono però istrumenti molto complicati e di un uso assai difficile e delicato. Quantunque si abbiano esempi di termometri a serbatoio di vetro — come quello dell'Uff. Centr. dei Pesi e Misure dell'Impero Russo, o l'altro usato da Holborn e Wien, *Wied. Ann.* 1899, T. LXVIII, p. 817, per temperature tra i 200° e i 500° — od in porcellana verniciata in-

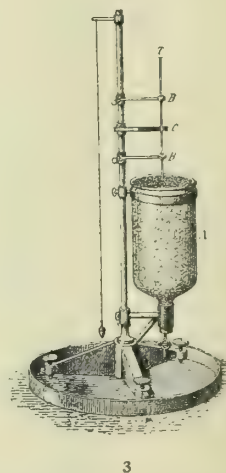
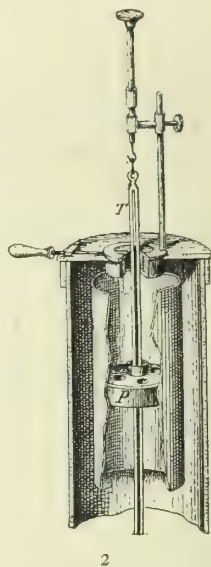
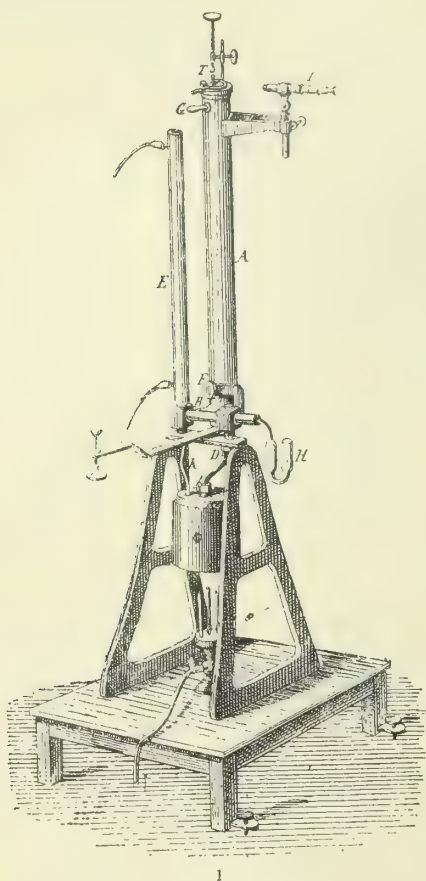
ternamente — come usavano i fisici tedeschi testè nominati per temperature superiori ai 500° — tuttavia generalmente il serbatoio è in qualche metallo prezioso: l'aveva in oro quello per alte temperature usato dal Prinsep, *Phil. Transact.*, 1828, parte I, pag. 79: lo ha di platino iridiato, della capacità di un litro, quello del *Bur. Int.* di Parigi. Richiedono un grande corredo di apparecchi per depurazione ed essicamento del gas, disposizioni speciali per il riscaldamento uniforme della massa; manometri e barometri per la misura della pressione del gas e di quella dell' atmosfera; catetometri di alta precisione per le letture: tutto insomma un complesso che limita l'uso di cotesti grandi istrumenti a casi molto speciali; ed ha fatto studiare a più di un fisico delle semplificazioni, le quali, se da una parte si risolvono in una limitazione della squisitezza, permettono però, dall'altra, letture più rapide, e, conseguentemente, una più larga applicazione dei pregi che hanno i gas come corpi termometrici. Così una buona disposizione ne immaginavano nel 1882, il Michelson — *Journ. de Phys.*, a. 1883, pag 145 — per renderne le indicazioni indipendenti dalla pressione, e lo Schneebeli — *Arch. des Sc. Phys. et N.* 1882, p. 244 — per usarlo, senza grave errore, correntemente alle temperature ordinarie; ed il Mazzotto — 1892 — apportava qualche semplificazione a quello del Iolly, meno felice però del Callendar — *Proc. of the R. Soc.* T. L, 1891-92 — che, nel suo *a compensazione,* con ingegnose disposizioni aveva ridotto la lettura analoga a quella di un termometro a mercurio. Allo stesso *Bureau International,* oltre al grande termometro, ne esiste uno di cotesti di uso più semplice e spedito, stabilitovi per cura dello Chappuis.

Calibratore a microscopi per termometri

Il problema della misura delle temperature presenta poi dei lati speciali che hanno obbligato a cercarne soluzioni diverse da quelle che potevano offrire il termometro ordinario a mercurio ed anche quello a gas; basti per ora accennare alla determinazione delle temperature che escono dai limiti delle ordinarie.

Cominciamo da quella delle alte, problema che, se è di primo ordine per interesse scientifico, lo è pure per l'industria: « *a measure for the higher degrees of heat* — scriveva Giosia Wegdwood nella sua prima memoria, *Phil. Trans.* 1782, parte II, p. 1, — *would be an important acquisition, both to the philosopher and the practical artist* ».

Furono anzi le esigenze dell'industria quelle che portarono ad una soluzione sodisfacente del problema. « Wegdwood, fabbricante di porcellane — scrivono, passando in rassegna alcuni dei nomi più cospicui in cotesto ordine di studi, Le Chatelier e Boudouard in quel loro pregevole *Mesure des températures élevées,* Paris, Carrè, 1900, p. 214 — Wegdwood cercava di migliorare la sua produzione; così pure Seger, alla manifattura di Berlino, si occupava esclusivamente di prodotti di ceramica; Siemens cercava di regolarizzare la fabbricazione dell'acciaio fuso, gli ingegneri della *Compagnie Parisienne* miravano ad un mezzo

di controllo della distillazione del carbon fossile. Le Chatelier studiò il pirometro termoelettrico in occasione delle ricerche su la cottura delle calci e su la fabbricazione dei cementi; egli studiò il pirometro ottico dietro domanda di Hatfield, fabbricante di acciaio di Sheffield, il quale desiderava per la sua industria un pirometro che riunisse precisione e semplicità di uso. Roberts Austen,

L'apparecchio Chappuis per il punto *100* dei termometri, e quello per ii punto *o*, quali veng. us. al *Bureau Int. des P. et M.*

Dalle pubbl. del *Bureau* per cort. conc. dell'on. Direttore.

Legg. espl. — Fig. 1. Ved. d'ins. dell'app. per il pnnto 100. É un perfez. di quello del Regnault quale si trova descr. in tutti i tratt. di fisica. *A* tubo a dopp. par. per circol. del vap. gen. in *C*; *E* condensatore; *H* manom ad acqua, indic. la diff. tra la press. int. e l'esterna; *B* asse cavo int. a cui può rot. l'app. per determ. il punto 100° nelle due pos. vertic. e orizz.

Fig. 2. Particolare del tubo *B*.

Fig. 3. L'app. per lo 0. *A* camp. di vetro piena di ghiaccio finamente raspato; *T* termom.; *C* molla che lo preme dolcem. contro le forchette *B*.

direttore della zecca di Londra, consacra da molti anni tutti i suoi sforzi allo studio delle leghe industriali, per il quale ha saputo trarre partito si utile dal pirometro registratore ». Ecco quale influenza hanno esercitato i bisogni dell'industria su la soluzione di cotesto problema della misura delle temperature elevate.

Per molto tempo la scienza non ebbe altro mezzo che quello dell' uso del termometro a gas — il mercurio bolle a 360° —: e per cotesto — non potendosi, per il serbatoio, impiegare il vetro per il rammollimento che la temperatura alta vi produce — avevano costruito il Prinsep quel termometro a serbatoio d'oro cui già fu accennato, e col quale aveva fissato rispettivamente — l. c., pag. 94 — a 1200 e 1600 gradi Fahrenheit il color rosso vivo ed il ranciato, a 1830, 1920, 2050 i punti di fusione dell'argento e di due leghe di esso con $^1/_{10}$ e $^1/_4$ di oro; e poco dopo — 1837 — il Pouillet, quel pirometro a serbatoio di platino con cui — *Élém. de Phys. Exp.*, 5. ediz. 1847, T. I, p. 276 — egli aveva determinato « le diverse temperature corrispondenti al rosso . . . la temperatura di fusione dell'oro e dell'argento . . . e la capacità del platino per il calore a diverse temperature ».

Quanto all' industria, essa rimase per lungo tempo al pirometro di Wegdwood e ad istrumenti del genere di quello che il Brogniart aveva disposto a Sèvres, vale a dire del tipo dei consueti pirometri lineari che si adoperano nei corsi per dimostrare le dilatazioni in lunghezza. Solo nel 1900 — impiegandosi il quarzo nella costruzione del tubo e del serbatoio, lo stagno come corpo termometrico — si ebbe — dal Dufour — un termometro per alte temperature del tipo di quello a mercurio.

Una soluzione molto buona del problema venne fornita dall'elettricità, in primo luogo con le *coppie termo-elettriche*, valendosi, cioè, di quelle correnti che l'OErstedt — *Ann. de Ch. et de Ph.*, a. 1823, T. 22, p. 200 — propose di chiamare appunto con cotesto appellativo di *termoelettriche*, passato poi alle coppie che le generano: in secondo luogo con le variazioni che il mutare della temperatura determina nella resistenza opposta dai corpi al propagarsi della corrente elettrica, comunque essa venga generata.

Sono di tale pregio, coteste soluzioni fornite dall'elettricità, che uno tra i più eminenti termometristi, moderni, il Callendar — *On a Practical Thermometric Standard, Phil. Mag.*, T. XLVIII, 1899 — non dubitava di proporre — come campione secondario, come, campione, cioè, in surrogazione di quello ad idrogeno — appunto un termometro a resistenza elettrica di platino, ritenuto da lui preferibile a quello a mercurio del quale sono pure sì grandi la squisitezza e l'attendibilità, come si ebbe occasione di esporre.

Cristal
Cristal dur
Verre dur
Acide carbonique
Azote
+0,15
+0,10
+0,05
-0,05
-0,10
-0,15
-0,20
-20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 T_H

Diagramma dimostrante la varia dilataz. dell'azoto e dell'anidride carbonica rispetto all'idrogeno nell'intervallo tra 0° e 100°; quale risulta dalle esp. dello Chappuis col grande term. a gaz del *Bur. Int. des P. et M.*
Dalle pubbl. del *Bureau*, per cort. conc. dell'illustre Direttore.

Su le accennate azioni termo-elettriche, la prima osservazione si deve al Volta: egli aveva constatato come una lamina di argento i cui estremi fossero a temperatura differente costituisse un generatore di elettricità simile ad un elemento di pila. Parecchi anni dopo, il Dessaignes — Becquerel, *Traité Expér. de l'Électr. et du Magnet.*, Parigi 1834 T. I, pag. 234 — aveva veduto le contrazioni di una rana quando muscoli e nervi ne erano messi in comunicazione con un cucchiaio d'argento, nella cavità del quale era un carbone acceso.

Si è però T. J. Seebeck che vuol essere considerato come il padre di cotesto ramo veramente importante di studi, dei quali gettava le basi con le esperienze esposte nella memoria *Ueber die magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz* — comunicata all'Accademia di Berlino nelle sedute del 16 ag., 18 e 25 ott. 1821 e 11 febbr. 1822, pubblicata appunto in *Abhandlungen der König. Akad. der Wiss. z, Berlin*, a. 1825, e riprodotta integralmente nel T. VI, a. 1826, pag. 1, 133, 253 degli *Annali di Poggendorff*. Il Seebeck aveva trovato che dal sistema di due pezzi di metallo, saldati l'uno in seguito all'altro e ripiegati così da formare un anello od un

telaietto — chiuso per saldatura dei due estremi, portati a contatto — può aversi una corrente elettrica quando, col riscaldare una delle saldature, si stabilisca una differenza di temperatura tra essa e l'altra: ed aveva studiato l'influenza della natura dei metalli su la perspicuità del fenomeno, che constatava — come si fa tuttogiorno nei corsi con quell' esperimento che ne porta appunto il nome e che è descritto nei libri anche più elementari — col situare verticalmente l' anello od il telaietto nella direzione dell'ago da bussola, e provocare il deviare di uno di cotesti aghi — posto entro il telaietto o l'anello — riscaldando una delle saldature.

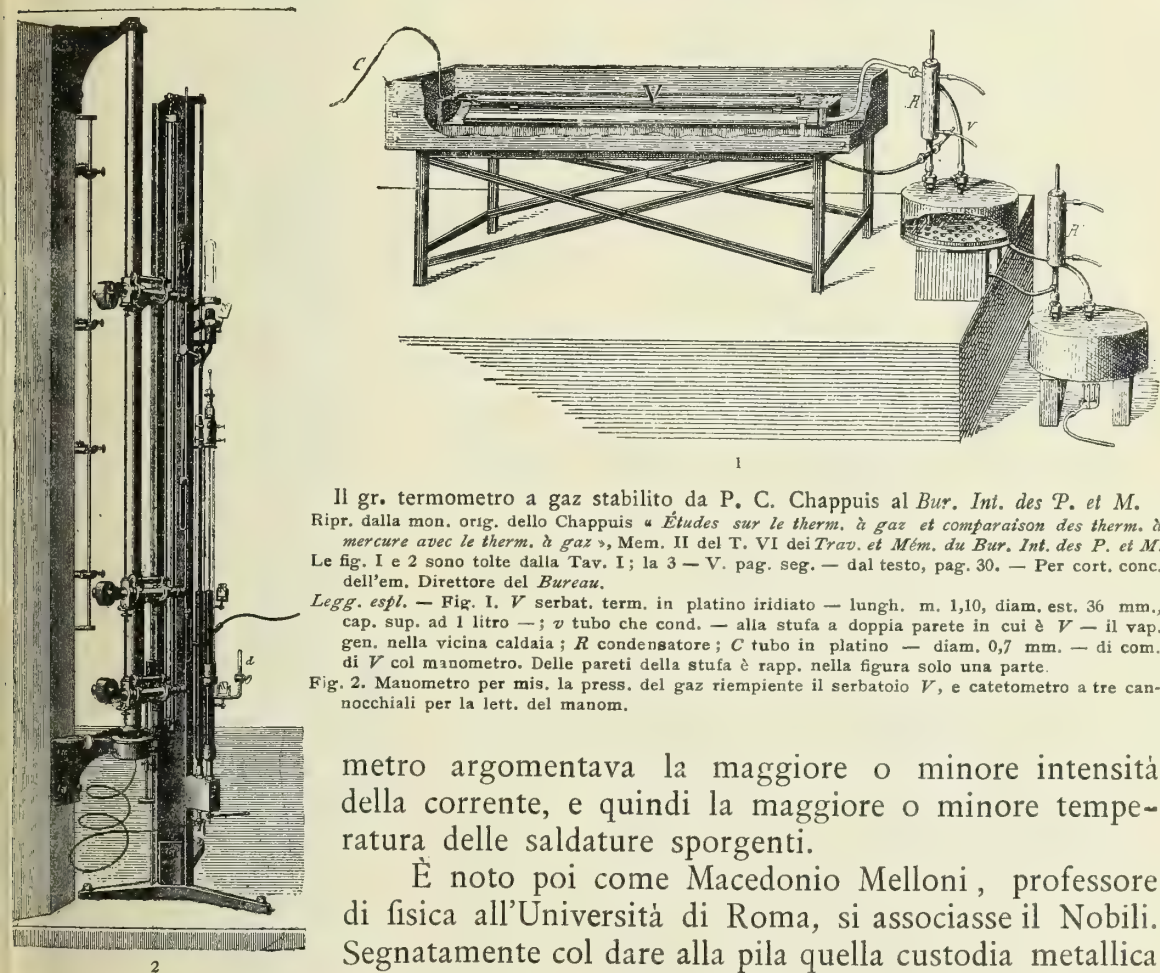
L'OErstedt, che si era interessato in modo speciale a quelle importanti esperienze, ne comunicava il 31 marzo 1823 all'*Ac. des Sc.* altre da lui eseguite col Fourier — *Ann. de Ch. et de Phys.*, stesso anno, T. 22, p. 375 — dalle quali era risultato che l'effetto termo-elettrico poteva essere aumentato colla alternativa di molte coppie bimetalliche — in una serie di esperienze avevano usato un circuito composto di 22 sbarrette di bismuto alternate con 22 di antimonio, convincendosi « que chaque element contribue à l'effet total » —; ed è notevole come quei due grandi fisici operassero raffreddando con ghiaccio fondente una metà delle saldature e riscaldando con fiamma le rimanenti — scelte le une e le altre in modo che si alternassero tra loro. —

A coteste esperienze — che fornirono ai loro autori materia per molte osservazioni importanti — tennero dietro subito altre del Becquerel — *Du developp. de l'électr. par le contact de deux port. d'un même métal, dans un état suffis. inég. de temp.*, com. nel maggio 1823 al *Bur. des Long.*, e ins. in *Ann. de Ch. et de Phys*, stesso anno, T. 23, p. 135 — dalle quali, tra altro, era risultato possibile il fare una pila valendosi di un solo metallo: era l'applicazione ad un tempo delle osservazioni del Volta e del Dessaignes, di fatti osservati dal Seebeck e da OErstedt e Fourier.

Tutto cotesto mirava unicamente alla generazione delle correnti elettriche ed allo studio della natura della elettricità e dei suoi rapporti col calore. Però si comprese ben presto come la corrente generata per siffatta via potesse divenire mezzo atto assai a riconoscere il calore ed anche ad istituire misure su di esso.

Spetta in ciò un posto eminente a Leopoldo Nobili di Reggio Emilia. Egli — *Description d'un thermo-multiplicateur ou thermoscope électrique*, in *Bibliothèque Univ. des Sc., Belle-Lett. et Arts, redigée a Genève*, T. II del 1830, p. 225 — ideò di dare agli elementi forma e disposizioni tali che tutte le saldature di ordine dispari venissero a trovarsi da una medesima banda, e le rimanenti da un'altra. Di più chiuse il sistema in una scatola da cui sporgeva una di coteste metà delle saldature, mentre le altre stavano all'interno, avviluppate da uno strato di mastice. Con ciò riusciva molto più semplice lo stabilire le volute differenze di temperatura nelle varie parti della catena metallica: e, per di più, mentre quelle difese dal mastice potevano facilmente conservare invariata la loro, le altre — perchè sporgenti ed indifese — potevano subire l'influenza di quella dell'ambiente; e le mutazioni di questa, od il calore che per qualsiasi causa avesse colpito appunto le saldature sporgenti, dovevano manifestarsi con una corrente elettrica di intensità varia secondo la causa che la determinava.

Una pila siffatta — aveva sei coppie di bismuto e antimonio — egli usava insieme a quel *moltiplicatore*, o galvanometro, a due aghi che — presentatolo all'*Accademia di Scienze, Lettere ed Arti* di *Modena* — aveva descritto nella *Bibl. Univ.*, a. 1825, T. XXIX, p. 119, e che — *Comparaison entre les deux galvanomètres les plus sensibles, la granouille et le multiplicateur à deux aiguilles*, in *Bibl. Univ.*, a. 1828, T. XXXVII, p. 10 — gli aveva offerto materia ad interessanti esperimenti. Dalla deviazione maggiore o minore del galvano-

1

Il gr. termometro a gaz stabilito da P. C. Chappuis al *Bur. Int. des P. et M.*
Ripr. dalla mon. orig. dello Chappuis « *Études sur le therm. à gaz et comparaison des therm. à mercure avec le therm. à gaz* », Mem. II del T. VI dei *Trav. et Mém. du Bur. Int. des P. et M.*
Le fig. I e 2 sono tolte dalla Tav. I; la 3 — V. pag. seg. — dal testo, pag. 30. — Per cort. conc. dell'em. Direttore del *Bureau*.
Legg. espl. — Fig. I. *V* serbat. term. in platino iridiato — lungh. m. 1,10, diam. est. 36 mm., cap. sup. ad 1 litro —; *v* tubo che cond. — alla stufa a doppia parete in cui è *V* — il vap. gen. nella vicina caldaia; *R* condensatore; *C* tubo in platino — diam. 0,7 mm. — di com. di *V* col manometro. Delle pareti della stufa è rapp. nella figura solo una parte.
Fig. 2. Manometro per mis. la press. del gaz riempiente il serbatoio *V*, e catetometro a tre cannocchiali per la lett. del manom.

2

metro argomentava la maggiore o minore intensità della corrente, e quindi la maggiore o minore temperatura delle saldature sporgenti.

È noto poi come Macedonio Melloni, professore di fisica all'Università di Roma, si associasse il Nobili. Segnatamente col dare alla pila quella custodia metallica e quell'imbuto a cono che conserva tuttora, col ricoprirne opportunamente le saldature da ambo i lati con nero fumo o col lasciarle lucenti secondo la natura delle ricerche, e col costruire il galvanometro con criterî speciali; con tutto cotesto, ed altro di minor conto, il termomoltiplicatore fu perfezionato d'assai e divenne tanto sensibile che, con una pila di 38 coppie, era *affecté par la chaleur naturelle d'une personne placée à la distance de 25 à 30 pieds*, e che i due fisici italiani riuscivano con esso a misurare perfino il calore proprio degli insetti (1), stabilendo — sugli insetti! giova notarlo in modo speciale — fatti nuovi, importantissimi rispetto alla teoria del calore

(1) John Davy aveva eseguito delle misure di temperatura d'insetti, praticando una incisione nel loro corpo ed introducendovi il bulbo di un termometro piccolissimo. Il metodo non era dunque applicabile se non ad insetti di una certa grandezza; di più la temperatura riusciva alterata insieme e dallo stato anormale e spasmodico in cui l'insetto veniva a trovarsi e dal calore occorrente a riscaldare il termometro.

animale, tra i quali menzioneremo l'essere nei *Lepidotteri* più elevata la temperatura quando si trovano allo stato di bruco — nel quale sono più abbondante la nutrizione, più rapida la crescita, più sviluppato il sistema respiratorio — che non quando hanno subito la metamorfosi in crisalide e farfalla.

I risultati di quegli studî del Nobili e del Melloni sono esposti in una memoria — *Rech. sur plus. phén. calorifiques entreprises au moyen du thermomult.* — presentata all'Accademia di Parigi il 5 settembre 1831 — commissari l'Arago ed il Dulong — e basterebbero da soli a immortalare i due fisici italiani, perchè — oltre a quanto già venne accennato — essi erano riusciti a constatare il calore svolgentesi nella combustione lenta del fosforo, il *passage instantanée de la chaleur rayonnante à travers les corps transparents*, ed a conseguire risultati decisivi sul *potere emissivo*, *assorbente e riflettente* dei corpi per il calore.

Nè sarà il caso di non rilevare come da quella memoria prendano le mosse i lavori del Melloni che hanno dato tanta gloria alla scienza italiana e per il valore intrinseco e perchè — con l'esserne risultata la identità di natura dei raggi calorifici e di quelli luminosi — essi vennero a costituire una delle pietre angolari della scienza moderna.

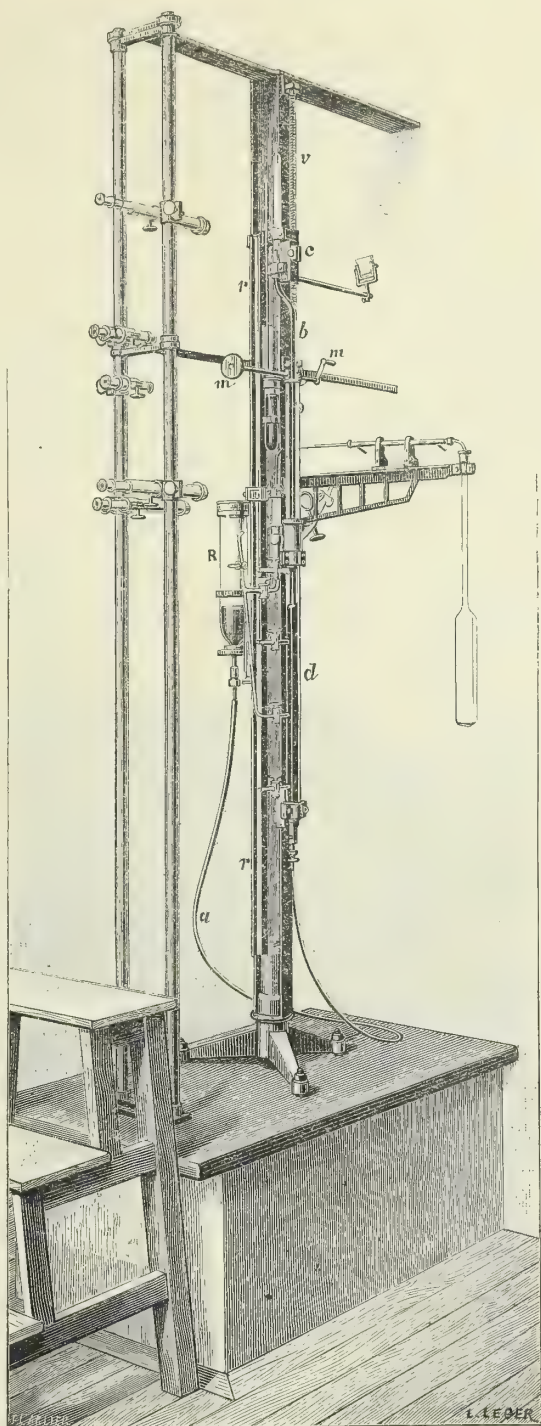
Per rimanere poi nel campo dell'uso delle pile termo-elettriche nello studio dei fenomeni del calore, dovremo ricordare il nome del Becquerel come di colui che col Nobili e col Melloni ebbe meglio contribuito a dare ai fisici il nuovo mezzo di misura, ed a ridurlo tale che già il Becquerel, per usare le sue stesse parole — *Traité expérim. de l'Électr. et du Magn., Paris.*, a. 1836, T. IV — aveva potuto mostrare *comment on pouvait substituer aux pyromètres, aux thermomètres et aux thermoscopes les plus sensibles, des appareils thermo-électriques, rivalisant avec eux pour la précision, et avec les quels on parvenait à mesurer la température de chacune des couches qui composent la flamme d'une bougie ou d'une lampe, celles de l'interieur d'un fourneau, d'un lac jusq'à une certaine profondeur et de toutes les parties intérieures du corps de l'homme et des animaux* (1), *sans qu'il en résultât un dommage sensible dans l'économie animale.*

s
c
B
m
m'
c
P
n

Particolare del manometro precedente (Fig. 2, pag. 201).

(1) Mediante elementi termoelettrici — ad acciaio e rame — ridotti alla forma e dimensioni « *d'une aiguille ou sonde... semblable à celle dont on se sert pour l'acupuncture* ». Venivano collegati, s'intende, con un galvanometro

Problemi speciali posti dallo sviluppo delle industrie, difficoltà venute — per la determinazione delle temperature — dalla grande elevazione e dalla estrema bassezza di quelle a cui si giunse specialmente verso la fine del secolo XIX, interesse costante per i fatti che toccano la costituzione dei corpi e la natura e maniera di operare delle energie fisiche, tutte coteste cause insieme hanno contribuito a moltiplicare gli studî e le applicazioni delle pile termoelettriche come termometri. Esse hanno permesso di precisare un gran numero di temperature elevate, su le quali non si aveva alcuna idea, ed è con esse — diremo col Le-Chatelier « que M. Osmond et ses continuateurs, M. M. Roberts Austen, Arnold, Howe, Charpy ont fait toutes leurs études sur les transformations moléculaires des fers et aciers. Les conditions de fabrication et de traitement de ces métaux ont été precisées par l' introduction courante dans les usines de ce procedé de mesure des temperatures élevées » (1).

Nè gli studi furono solo diretti sul ferro e su gli acciai. Numerosissimi ed importanti lavori furono eseguiti per dilucidare i punti generali del metodo, o per farne applicazioni. Così il Kelvin, il Tait, l'Avenarius, l'Edlund, il Bellati studiavano le relazioni tra la temperatura ed il potere termoelettrico dei metalli; Cailletet e Colardeau — *Journ. de Phys.*, a. 1888, serie II, T. VII, p. 286 — valendosi di pinze di platino-platino rodiato, e di ferro-rame, determinavano la temperatura di ebollizione dell'etilene sotto la pressione atmosferica — trovando rispettivamente -102°,1 e -102°,9 —; ed Holborn e Wien-*Ueber die Messung tiefer Temperaturen, Wied. Ann.*, a. 1896, T. LIX, p. 213 — con la coppia ferro-costantana determinavano la temperatura di solidifi-

Il piccolo termometro a gaz del Bur. Int. des Poids et Mesures
Ripr. della fig. 22 a pag. 50 del Guillaume « *La Conv. du m.* ecc. », Parigi, Gauthier Villars, 1902. Per cortese concessione.

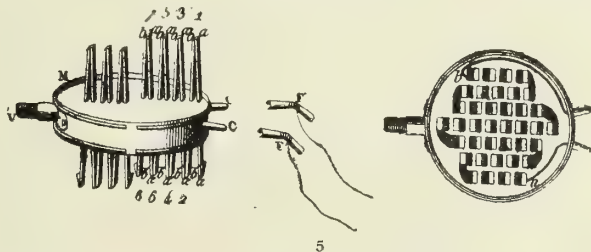
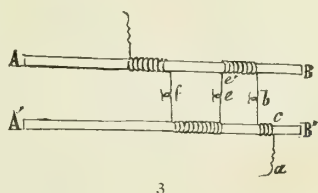
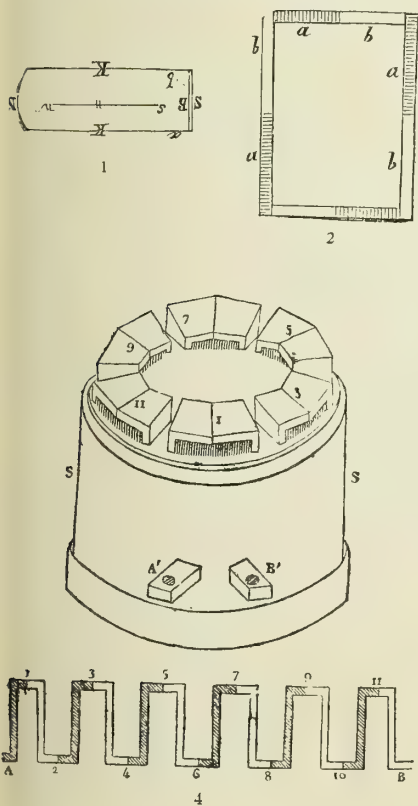
(1) Le Chatelier et Boudouard, *Mesure des Temp. él.* Parigi, *Carré et Naud,* 1900, pag. 140.

cazione di diverse sostanze — ammoniaca -78°,8, toluene -102°, solfuro di carbonio -112°,8, etere -117°,6 ed altre —; e qualche anno prima — *Ueber die Messung hoher Temperaturen, Wied. Ann.*, a. 1892, T. XLVII, p. 106 — avevano fatto studi di confronto tra diverse coppie termoelettriche, occupandosi invece di temperature elevatissime: il Barus — *The Fusion Constants of Igneous Rock, P. I. The measurement of high temperatures, Phil. Mag.*, 1892, II Sem., T. XXXIV, pag. 1 — faceva nel 1887, come egli stesso dice, al Laboratorio fisico del *Geolog. Surv.* di Washington degli studî su una coppia platino e platino-iridio al 20% di questo metallo, tra i 330° ed i 1080°; come — Van Aubel, in *Archives des Sc. Phys. et Nat.*, a. 1898, IV periodo, T. VI, p. 189 — si valsero della coppia ferro-costantana il Rubens, lo Czermak, il Fuchs, il Kleiner, il Troost; come si valsero della stessa coppia e di altre — costantana-manganina, manganina-alluminio — il van Aubel, citato, col Paillot — *Arch.* T. XXXIII, p. 149 — ; come di coppie termoelettriche si valse il Berkenbusch in quegli studi tanto geniali (1) su la temperatura delle fiamme, per i quali merita un posto veramente cospicuo tra i discorsi accademici quello pronunciato appunto dal Berkenbusch nel 1898 all' università di Bonn.

Il termometro a serbatoio d'oro del Prinsep.
Ripr. della Fig. I della monog. orig. del Prinsep « *On the meausurement of high temperatures* », Tav. II del vol. per il 1828, parte I, della *Philosophical Transactions* della *R. Soc. of London.*

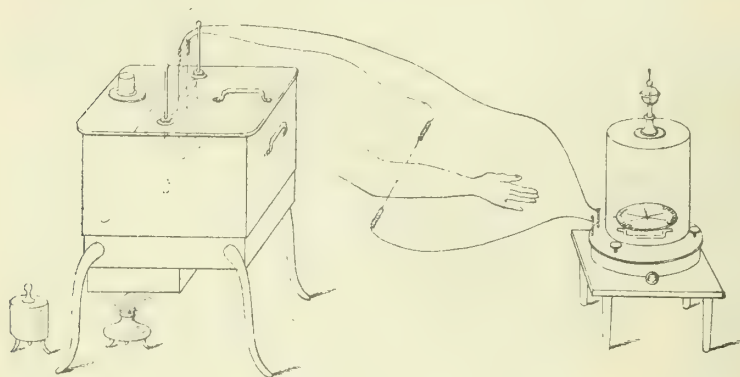
Malgrado i grandi vantaggi — soprattutto: piccolezza del corpo termometrico, rapidità delle indicazioni, possibilità di porre a qualsiasi distanza gli istrumenti di misura — malgrado i perfezionamenti portativi mercè gli studi intesi ad eliminare le cause d'errore, e nei quali va segnalata l'opera del Le Chatelier — *De la mesure des temp. élev. par les couples thermo-électriques, Journ. de Phys.*, a. 1887, s. II, T. VI, p. 23, e op. prec. citata —; malgrado tutto ciò, l'uso delle coppie termoelettriche non è il migliore dei due mezzi che l'elettricità ha offerto alla termometria. A determinare la preferenza basterebbe il fatto che con l'altro — la variazione, col mutare della temperatura, della resistenza opposta da uno stesso corpo al propagarsi della corrente elettrica — si può raggiungere un grado di sensibilità e quindi di precisione, assai maggiore: esso ha permesso di valutare il calore dei raggi che ci mandano le stelle!

(1) In tutte le esperienze, su la temperatura delle fiamme, anteriori a quelle del Berkenbusch si aveva una causa di errore nelle perdite di calore — della saldatura — per conduttività e per irraggiamento. Il fisico tedesco pensò di togliere cotesta causa di errore col servirsi del calore svolto da correnti elettriche alternate che egli faceva passare per la saldatura, disponendo ingegnosamente le cose in modo che coteste correnti non potessero menomamente alterare la indicazione di quella che il calore della fiamma determina nella saldatura stessa. Vegg. negli *Annali* del Wiedemann del 1899, T. LXVII, pag., 649 il lav. del Berkenbusch *Zur Messung von Flammentemperaturen durch Thermoelem.*

Lasciando le osservazioni del Davy, si ha, che i primi studi su coteste variazioni di conducibilità o di resistenza col variare della temperatura sono dovute a quell'insigne fisico russo che fu il Lenz. Egli, in due memorie lette all'Accademia delle Scienze di Pietroburgo, il 7 giugno 1833 — *Mém. de l'Ac. Imp. des Sc. de S. Petersbourg*, VI serie, *Sc. Mat. Phys. et Nat.*, T. II, p. 631, pubbl. anche in *Pogg. Ann.*, a. 1835, T. XXXIV, p, 418 — e l'8 aprile 1836 — *Mém.* cit., serie cit., T. III, parte I, p. 439, e rip. in *Pogg. Ann.* a. 1838, T. XLV, p. 105 — aveva comunicato i risultati di molte misure fatte dapprima su fili di argento, rame, ferro, platino, poi su conduttori di oro, piombo e zinco; ed aveva anche dato delle formole esprimenti la legge di variazione per ciascuna di coteste sostanze. Cotesti lavori erano stati seguiti a piccolo intervallo di tempo da altri del Becquerel — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1846, T. XVII, p. 242 — e del Müller di Halle — *Pogg. Ann.* T. LXXIII, p. 434 — a cui aveva tenuto dietro lo studio importantissimo — *Ueber den galvanischen Leitungs widerstand der Metalle bei verschiedenen Temperaturen*, in *Pogg. Ann.*, T. CIV, p. 1 — di un fisico scandinavo Adamo Arndtsen assistente all'Università di Christiania, e quelli — copiosi ed accuratissimi — del Matthiessen — *Pogg. Ann.*, CXV, CXXII, T. CXXV — e dei due Siemens, Werner

I primi *generatori di correnti termo-elettriche.*

Legg. espl. — Fig. 1. L'esp. del Seebeck. Rip. della fig. 1 della monog. orig. del Seebeck citata nel testo — V. pag. 109: *sn* ago magnetico da bussola, o di declinazione; *KBKN* telaietto composto di una sbarretta *B* di bismuto e del tratto *a KNKb* in rame. Riscald. la saldat. vicina a *b* il Seebeck constatava il deviare dell'ago *sn*.
Fig. 2. Circuito a 4 coppie bismuto-antimonio, dell'Œrstedt.— Riprod. della fig. 6 della mon. dell'Œrstedt cit. nel testo, pag. 200.
Fig. 3. Pila ad un solo metallo — filo di rame — del Becquerel. *AB, A'B'* tubi di vetro; *ab, ef'* fili di rame avvolti ad uno dei tubi; *be'e* ... fili avvolti all'altro; *b,e,f....* giunti dei fili. — Rip. della fig. a pag. 149 del T. 23, anno 1823 degli *Ann. de Ch. et de Phys.*; Mem. del Becquerel cit. nel testo, pag. 200.
Fig. 4. Pila del Nobili a 6 coppie bismuto-antimonio, disp. in modo che le saldat. sono altern. da una parte e dall'altra. — Rip. della fig. a pag. 226 del vol. II, a. 1830, della *Bibl. Univ.* di Ginevra; Mem. del Nobili cit. nel testo, pag. 200.
Fig. 5. Pila a 38 coppie bism.-ant. us. da Nobili e Melloni nelle loro prime ricerche comuni. — Ripr. dalla Tav. I del T. 48, a. 1831, degli *Ann. de Ch. et de Phys.*, in cui a pag. 198 è inserita la mem. orig. dei due fisici it. citata nel testo, pag. 202.

e Carlo Guglielmo. Fu peró solo con quest' ultimo che si costrusse un apparecchio industriale, in cui la variazione di resistenza — di un filo di platino — prodotta dal mutare della temperatura, fosse applicata alla determinazione di questa. E siccome invece che operare solo per temperature

comprese tra 0° e 100°, come avevano fatto gli sperimentatori precedenti — egli aveva esteso assai di più le ricerche — per il platino le aveva spinte fino a 1000° — così l'apparecchio da lui costruito e presentato il 27 aprile 1871 alla *Royal Society* di Londra — *Proceedings*, T. XIX, p. 443, a 1870-71 — poteva servire a misurare « le temperature ordinarie e quelle dei forni ».

Determinaz. della temp. int. di un braccio umano med. un ago termoelettrico. Esp. del Becquerel.

Rip. della fig. 6 Tav. I, T. IV dell'ediz. orig. del *Tr. Ex. de l'Électr. el du Magn.* del Becquerel. Parigi, Firmin Didot, 1836.

Legg. espl. — A sinistra app. Sorel a temp. cost.; a destra galvanometro; nel mezzo l'ago termoelettrico attraversante un braccio.

Si disse quello del Siemens il primo apparecchio industriale: si sarebbe potuto dire anche il primo in linea assoluta, se uno scienziato svedese, Adolfo Ferdinando Svanberg, molto prima di lui — *Om uppmätning af lednings motständet för elektriska strömmar, och om en galvanisk differential-thermometer* (Sulla mis. della resist. dei condutt. per corr. elettr., e su un termom. differenz. galvanometrico), Atti della R. Acc. della Sc. di Stoccolma, a. 1850, pag. 109 — non avesse impiegato una disposizione di cui, come venne di poi ritrovata dal Langley, diremo tra breve.

A partire dalla invenzione del Siemens il metodo si generalizzò, specialmente per le misure delle temperature elevate dei forni e di quelle bassissime che la liquefazione di gas come l'ossigeno, l'azoto, l'idrogeno operate nell'ultimo periodo del secolo XIX ha permesso di produrre. E segnatamente mercè gli studi del Callendar — *On the constr. of Plat. Therm.*, in *Phil. Mag.*, a. 1891, serie V, T. XXXII, p. 104, e *Notes on Plat. Thermometry*, stesso periodico, T. XLVII, 1899, primo sem., p. 191 — del Griffiths — *On the Determ. of some Boiling and Freezing Points by means of the Plat. Therm.* in *Proc. of the R. Soc. of London*, T. XLVIII, p. 220, sec. sem., 1890 — del Callendar e Griffiths insieme — *On a Determ. of the Boil. Point of Sulphur and an a Metod of Standardising Plat. Res. Therm. by reference to it.* in *Proc.* cit., T. XLIX, II sem., 1891, pag. 56 — dell'Holborn e Wien — mem. già citata — dell'Harker e Chappuis — Guillaume, *La Convention du Mètre*, Parigi, Gauthier-Villars, 1892, pag. 53 — segnatamente, diciamo, dopo tutti questi studi dei quali è benemerita in modo speciale la scienza inglese, il termometro a resistenza di platino è a mettersi tra gli istrumenti di misura veramente attendibili e chiamati a dilucidare questioni interessanti non solo la scienza, ma anche l'industria. Così, per recare qualche esempio, il Callendar — *Phil. Mag.*, a. 1891, serie V, T. XXXIII — lo trovava abbastanza sensibile per isvelare le variazioni di temperatura di fusione dell'oro portate da minime quantità di argento, per studiare convenientemente i notevoli abbassamenti che il piombo porta in quella di fusione dell' argento, e l'influenza che su la temperatura di

solidificazione di questo metallo esercita l'aria che vi si discioglie mentre è fuso.

Si ha, tuttavia, a notare che, mentre per la grande precisione di cui è suscettibile, esso è utilissimo nelle ricerche da laboratorio, pare troppo fragile per l'uso diretto nella maggior parte delle applicazioni strettamente industriali quando si tratti di temperature elevatissime.

Come poi lo si usi, il lettore immagina facilmente: la questione si riduce a determinare la resistenza elettrica di un filo di platino alla temperatura richiesta: conoscendosi poi quella — poniamo — a 0°, e la legge di variazione, dal valore trovato, mediante una formola, si deduce l'incognita: la misura di una temperatura è dunque ridotta a quella di una resistenza elettrica.

Quanto a cotesta misura, il fisico ha metodi svariatissimi e molto squisiti, tra i quali è a ricordarsi qui — come preferito nelle ricerche appunto di termometria — quello ingegnosissimo noto sotto il nome di metodo del *ponte* o *bilancia di Wheatstone*, immaginato dal grande inglese, e da lui esposto alla *R. Soc.* di Londra il 15 giugno 1843 — *Phil. Trans.*, a. 1843, parte I, p. 303 — come parte di una comunicazione — *An Account of several new Instruments and Processes for determining the Constants of a Voltaic Circuit* (1) — molto notevole per novità di idee feconde.

Di quanta delicatezza sia suscettibile cotesto metodo — anche nell'applicazione alla termometria — lo provano i risultati ottenuti mediante il *bolometro* ideato dall'americano prof. S. P. Langley. Sia nelle disposizioni del Langley, sia nelle modificazioni, quale ad es. quella dell'AOngström (2) — *Bestäm-*

(1) Ecco schematicamente la disposizione ed il metodo del *ponte di Wheatstone*. Si collegano al modo indicato dall'unita figura il conduttore x del quale si vuol determinare la resistenza elettrica, un conduttore R fatto in modo che, senza nulla toccare delle sue congiunzioni col rimanente, può venirne, a piacere dell'operatore, collegata od esclusa, una parte più o meno grande, ed è perciò detto, la *resistenza regolabile* — del qual conduttore R è nota la resistenza elettrica nelle singole parti —; e finalmente due altri conduttori a e b dei quali si sa a quante volte la resistenza dell'uno equivalga a quella dell'altro. I quattro conduttori a, b, R, x formano in sostanza un anello costituito da quattro parti una delle quali variabile a piacere. Poi in A e C si attaccano i fili partenti dai poli di una pila p, ed in B e D quelli di un galvanometro G. La corrente fornita dalla pila, giungendo in A, si biforca allora nei rami a e b, passando anche parzialmente per il galvanometro; e le diverse correnti parziali si riuniscono poi in C per ritornate alla pila. Importa osservare che la grandezza ed il senso della corrente attraversante il galvanometro dipendono — a parità di tutte le altre circostanze — dalla grandezza della resistenza R. Anzi, ove le cose siano opportunamente disposte è possibile regolare R in modo che per il galvanometro non passi affatto corrente. Ciò — dimostrano i fisici — deve avvenire quando R abbia rispetto ad x la medesima grandezza che b ha rispetto ad a. È ovvio pertanto che — poichè si conoscono il rapporto di grandezza tra a e b — il determinare la grandezza di x si riduce a regolare R in modo che per il galvanometro non passi corrente e dedurre poi, da cotesta grandezza di R, il valore richiesto, mediante un semplicissimo calcolo di proporzionalità.

Schema del *ponte di Wheatstone*.
Legg. espl. — a,b,x,R resistenze elettriche; G galvanometro; P pila; t e t' tasti per interromp. o stab. a piacere la corrente.

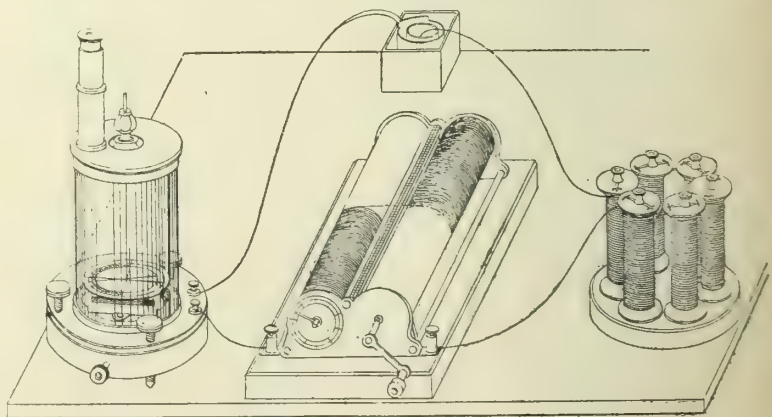
(2) Knut AOngström ha fatto col bolometro degli studi molto interessanti. Citiamo — perchè tra i primi — oltre a quello ricordato sopra: *Résumé prélim. d'une rech. expér. sur l'absorption de la chal. rayonn. par les gaz atm.*, e *Études des spectres infra-rouges de l'ac. carb. et de l'ox. de carb.*, Rendic. cit. della R. Acc. delle Sc. di Stoccolma., a. 1889, pag. 203 e 549; *Études de la distrib. spectr. de l'absorpt. dans le sp. infra-rouge*, stessi Rend., a. 1890, pag. 331.

ning af känsligbetenvid bolometriska mätningar, in *Öfversigt af Kongl. Vetenskaps Akademiens Förhandlingar*, T. XLV, p. 379, Stoccolma 1888-1889 — il bolometro è un ponte di Wheatstone, nel quale due lati sono costituiti da fili o nastri metallici esilissimi: nei primi del Langley erano nastri di ferro della lunghezza di circa mezzo millimetro e dello spessore di circa 1/250, pure di millimetro; in seguito furono di platino della lunghezza di un decimo e dello spessore fino ad un millesimo, sempre di millimetro. Uno dei fili o dei nastri, è mantenuto a temperatura costante; l'altro, invece, esposto all'azione dei raggi calorifici. La corrispondente differenza di temperatura tra i due bracci rompe l'equilibrio del ponte se questo era stato stabilito prima di ricevere su uno di essi i raggi; una corrente passa allora per il galvanometro, e dalla deviazione della parte mobile di questo si ha la indicazione appunto della differenza di temperatura.

Termometro a resistenza metallica. Tipo in filo di platino adottato dal *Bur. Int.* Dalle pubbl. del *Bur.* per cort. concess.

Il Langley è riuscito a costruire bolometri con cui misurare il *centomillesimo* del grado; e si è con i bolometri che egli ha potuto risolvere questioni estremamente difficili e suggestive, quali quella della misura del calore che la Terra riceve dal Sole, o l'altra della temperatura del suolo della Luna — da lui ritenuta nella parte stessa illuminata dal Sole non superiore ai 0° —; e dare alla scienza il mezzo di apprezzare — accoppiando il bolometro al telescopio — il calore che ci mandano gli astri.

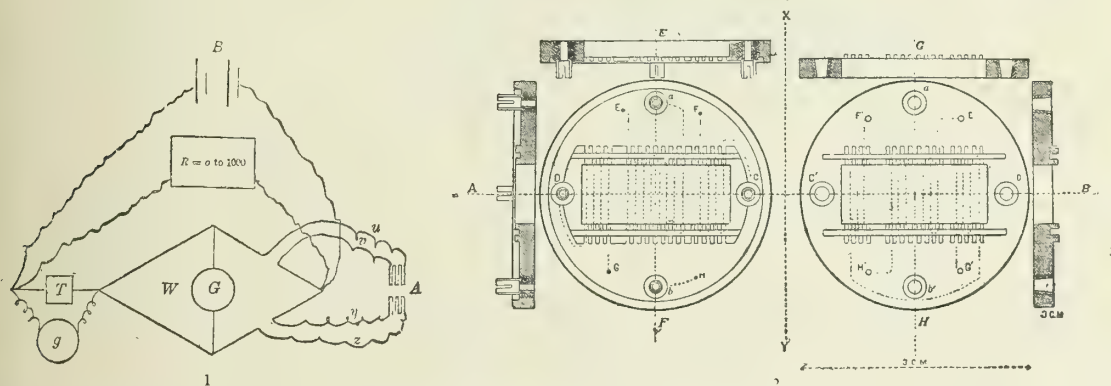
Ritornando alle temperature uscenti dai limiti ordinari, accenneremo di passaggio al metodo del Crova — *Mes. spectrométrique des hautes temp.*, in *Journ. de Phys.* serie I, T. VIII, a. 1879, pag. 196 — con cui la determinazione di quelle elevate si riduce alla osservazione di uno spettro luminoso, per cui è possibile « *étendre l'échelle des températures au delà de celles que peut mesurer le thermomètre á air et qui ne peuvent depasser celle ou la porcelaine se rammollit* ».

Relativamente a quelle basse, Ayrton e Perry — Lettura alla *Phys. Soc.*, in *Phil. Mag.*, V ser. T. XXII, a. 1886, p. 325 — han no messo fuori di dubbio che tra 0° e -39° la dilatazione del mercurio è pienamente regolare, ed è pienamente attendibile quindi il termometro corrispondente; lo Chappuis — *Journ. de Phys.* a. 1894, p. 178 — ha constatato essere inservibile quello ad alcole — che verso i -70° dà indicazioni

Il *ponte di Wheatstone* quale è rapp. dall'inv. nella monog. orig. Ripr. della Fig. I, Tav. XVI delle *Phil. Trans.* a. 1843, parte 1.

errate fino di 7° —, mentre è opportuno quello a *toluene* da lui proposto, e che poco dopo l'invenzione riceveva la sanzione di una importante e lunga esperienza nella celebre spedizione del Nansen; finalmente è degna di nota la bella invenzione di F. Kohlrausch — *Ueber ein Thermom. für sehr tiefe Temper.*, in *Wied. Ann.* T. LX, p. 463, a. 1897 — che con l'*etere di petrolio* ha costruito un termometro simile a quello a mercurio, ma ancora usabile a temperature vicine ai 190° sotto lo zero, quale è quella dell'aria liquida.

Passando invece ad altri campi, ci si presentano gli istrumenti inventati al servizio della meteorologia. Il Bellani perfezionava il termografo del Six, ed, oltre mezzo secolo dopo, il Kappeller di Vienna lo faceva rettilineo come un termometro ordinario, riducendo così cortissima la colonna di mercurio — destinata a spingere all' ingiù l' indice della minima, ed all'insù quello della massima. —

L'antico termografo *a massima* del Rutherford andò cedendo il posto a quelli di John Phillip — professore ad Oxford — e — più largamente — all'altro dei celebri costruttori italiani, stabiliti a Londra, Negretti e Zam-

1 2

Il primo *bolometro* del Langley.

Riprod, della fig. 1 a pag. 351 e 3 a pag. 354, monog. orig. del Langley « *The bolometer and radiant energy* », in *Proceedings the Amer. of Acad. Arts and Sciences*, Nuova Serie Vol. VIII, Parte II, Febbr. — Giugno 1881.

Legg. espl. — Fig. 1. Schema delle connessioni: *W* ponte di Wheatstone, di cui due bracci sono form. dai due fili metall. del bolometro *A*; *G* galvanometro; *B* pila; *R* resistenza con cui si regola la corr. che *B* fornisce al ponte; *g* galvanom. sussidiario che serve a constat. le variaz. della stessa corr.

Fig. 2. Due dischi rob. di gomma rappresentanti in grand. effettiva. e form. le due teste dell' app. Il lettore immagini quello di destra ribaltato posteriormente a quello di sin., e posto in corr. ad esso e con esso unito med. cilindretti infissi in *a,b,C,D* per l'anter. e in *a',b',C',D'* per l'altro; *E,F,G,H* sono pinze in platino; *E',F',G',H'*, cilindretti cavi di platino in cui sono infisse le pinze. Su le due teste sono praticate scanalature in cui si adattano a zig-zag i nastrini metallici. L'uno — destin. ad essere esp. alla sorg. di calore — occupa la parte centrale stendendosi in 8 tratti sul disco ant., in 7 sull'altro; parte da *a*, e per *EE'* e *H'H* termina in *H*. L'altro nastrino — la cui temp. deve rim. invariata — sta ai due lati del centrale — 4 tratti per parte sul disco ant., 3 per parte su l'altro —: comincia in *C*, e per *FF'*, e *G'G* termina in *D*. Si bilancia il ponte — riducendo a zero *G* — prima di esporre il bolom. all'az. della sorgente di calore. Poi si fa che questo operi: muta allora la resist. elettr. del nastrino centrale, l'indice di *G* devia, e dalla deviaz. si deduce la diff. di temperatura.

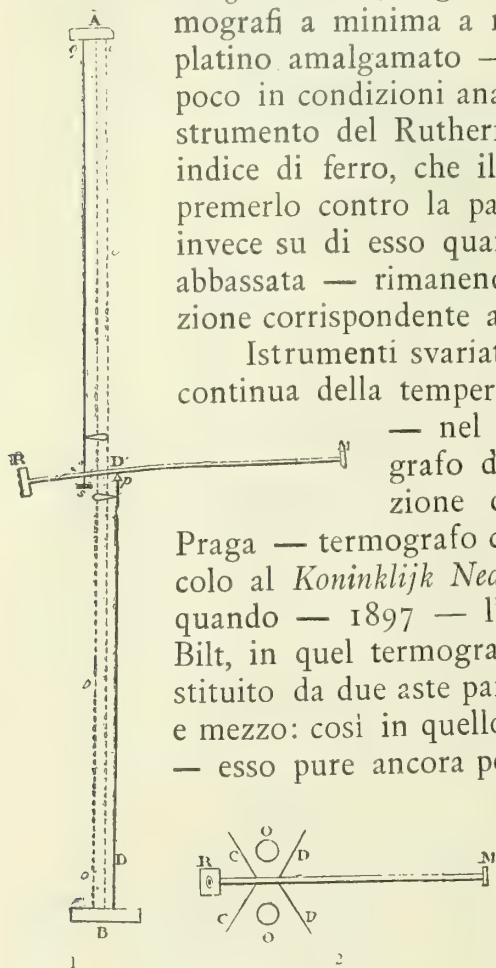
bra; termometri i cui principî ebbero ed hanno estesa applicazione nei *termometri clinici.*

Nel termografo del Phillip la colonna di mercurio — dilatandosi — spinge avanti una breve colonnina pure di mercurio — la quale fa da indice ed è staccata dalla colonna principale per la interposizione di una bollicina d'aria — abbandonandola poi quando la temperatura si abbassa, così che essa rimane sempre nella posizione corrispondente alla massima temperatura.

In quello di Negretti e Zambra — inventato poco oltre il 1850 — presso al bulbo « è inserito e fissato mediante il cannello da soffiatore un piccolo

pezzo di vetro o di smalto che opera come una valvola, permettendo al mercurio di passare lateralmente quando è sotto l'azione del calore, ma impedendogli il ritorno quando il termometro si raffredda ».

Il Baudin immaginò di rendere meno facilmente mobile l'indice del termografo *a minima* ad alcole del Rutherford, così che l'istrumento si potesse disporre anche verticalmente; e Negretti e Zambra — *A Treatise on Meteorological Instr.*, degli stessi, Londra 1864 — inventarono due termografi a minima a mercurio, l' uno orizzontale con indice di platino amalgamato — che nel mercurio viene a trovarsi pressapoco in condizioni analoghe a quelle dell'indice di smalto nell'istrumento del Rutherford — l'altro a cannello verticale con un indice di ferro, che il mercurio, dilatandosi, rende immobile col premerlo contro la parete interna del cannello, e che galleggia invece su di esso quando la colonna liquida si è bastantemente abbassata — rimanendo così, esso indice, obbligato nella posizione corrispondente appunto alla temperatura minima —.

Istrumenti svariatissimi vennero inventati per la registrazione continua della temperatura. Erano però di dimensioni eccessive — nel corpo termometrico —. Così nel termografo del Krecke — riproduzione, salva la sostituzione del vetro all' abete, di quello del Kreil a Praga — termografo che funzionò — per oltre un quarto di secolo al *Koninklijk Nederlandsh Meteorologisch Institut* — fino a quando — 1897 — l'Osservatorio da Utrecht fu trasferito a De Bilt, in quel termografo, diciamo, il corpo termometrico era costituito da due aste parallele di zinco della lunghezza di un metro e mezzo: così in quello del Bréguet che funzionava a Montsouris — esso pure ancora pochi anni or sono — lo era da un tubo di rame, a parete molto sottile, lungo 3 metri e del diametro di 8 millimetri, comunicante col fondo di una scatola metallica — pure a parete sottilissima — piena, come il tubo, di alcole, le cui variazioni di volume si potevano poi registrare, per i movimenti a cui obbligavano il fondo della scatola e che venivano amplificati mediante opportuni congegni; così, infine, nel celebre *meteorografo* impiantato dal Padre Secchi al Collegio Romano fungeva da corpo sensibile alle variazioni di temperatura un grosso filo di rame verticale, della lunghezza di 17 metri.

Il termografo del Krecke.

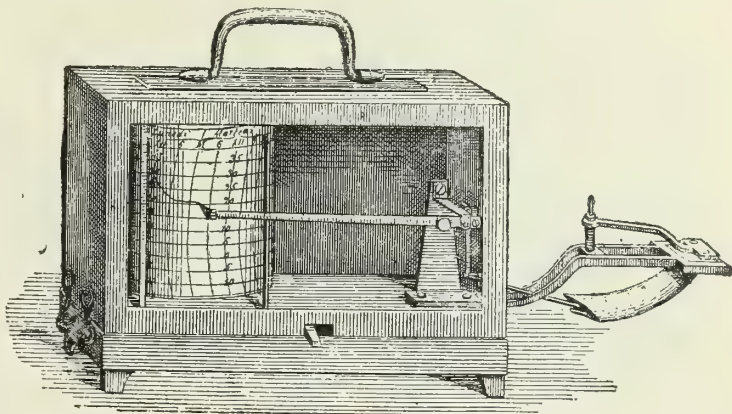
Dalla monogr. « *Sur un météorographe Univ. destiné aux Observat. Solitaires* » di E. H. von Baumhauer, Harlem, Eredi Loosjes, 1874.

Legg. espl. — Fig. 1, alzato; Fig. 2, pianta del termog. Due tubi *OO* di vetro — altezza m. 1,5, diam. cm. 3 — verticali, fissi a muro all'estr. inf., lib. di dilat. al sup.; *CC*, *DD* lamine sottili di zinco, fisse l'una superiormente, ad un pezzo *A* portato da *OO*; l'altra sorgente da *B* su cui sono fissi i tubi *OO*; *RM* leva di ottone rec. al termine *M* la penna scriv. su un cilindro — non rapp. nel disegno —, ed all'altro un contrappeso *R*. La leva poggia sul tagliente del sopp. *p* fisso al term. sup. di *DD*, ed è colleg. med. una vite *S* di regolaz. con l'inf. di *CC*. La dilataz. dello zinco essendo circa quadrupla di quella dei cilindri di vetro, se la temp. cresce *M* si alza: l'opposto avv. per *M* se la temp. diminuisce.

Tutti i registratori di cotesti tipi — si può dire — sono ora sostituiti da quelli eccellenti — della casa *Richard Frères* di Parigi — ad alcole e serbatoio metallico appiattito ed incur-

vato, nei quali il serbatoio stesso, fisso ad un capo, deformandosi al variare della temperatura, muove con l'altro — mediante opportuno congegno amplificatore — l'indice recante la piccola penna di platino registratrice.

In essi — poichè sono suscettibili anche di venire ridotti a peso piccolissimo — la meteorologia ha trovato un istrumento adatto pure per la novella strada da essa apertasi con i *palloni-sonda* allo scopo di facilitare e moltiplicare le esplorazioni dell'atmosfera, e, sopratutto, di giungere a quelle altezze che sono vietate all'uomo (1).

Si potrebbe anzi dire che essi ne soddisfano tutte le esigenze, se non avessero bisogno che l'andamento ne sia controllato — almeno a larghi intervalli — con la osservazione diretta, e, di più, se talora il loro uso non fosse impedito da condizioni speciali di clima. La scienza non è ancora arrivata a costruire registratori di nessuna specie che possano essere abbandonati a sè stessi ove la neve abbonda ed il freddo è eccessivamente intenso; vale a dire per le località per le quali la loro utilità sarebbe massima. Tutti sono falliti, fino ad ora, gli studi fatti — *Janssen, L'Observatoire du Mont Blanc*, mem. C nell'*Ann. pour 1895* del *Bur. des Long.* — per un meteorografo destinato all'Osservatorio del Monte Bianco, il quale funzionasse durante il periodo per cui è deserto quel posto avanzato della scienza, l'estremo che essa abbia stabilito

Il *termometro registratore* Richard.
All'est., a destra, il serbat. termom., riconoscib. alla forma di picc. arco: entro alla custod. il mecc. amplif., il braccio con la pennina, ed il cilindro mob. per rot. d'orolog.

(1) Su cotesto metodo, inauguratosi negli ultimi anni del secolo XIX, non riusciranno discari i seguenti particolari tolti da un rapporto dell'ammiraglio Teisserenc de Bort, cortesemente comunicato all'a. della presente monografia dalla Casa Richard:

« Les premières études sur la possibilité d'envoyer à grande hauteur des ballons (sans observateur) mais munis d'appareils enregistreurs, ont été faites par le L.t-Colonel Renard (alors capitaine) en 1877; il a donné à ce sujet une note à l'Académie des Sciences relatant les conditions que l'enveloppe du ballon devait remplir pour s'élever à grande hauteur.

Les premières ascensions des ballons sondes ont été faites probablement à l'établissement de Chalais, mais on n'en connait pas les résultats.

L'idée de procéder à des sondages par ballons, sans aéronaute avait été donnée par Lemonnier, à la fin du 18.éme siècle (dans un rapport à l'Académie des Sciences) il y indiquait divers moyens de rendre les appareils météorologiques enregistreurs. MM. Brissonet 1879, Jaubert et Silbermann en 1881 ont envoyé quelques ballons pilote sans enregistreurs pour avoir la direction des courants aériens.

Les premières ascensions des ballone-sondes qui aient fourni des résultats, sont dûes à MM. Hermite e Besançon, commencées d'abord en octobre 1892 avec des ballons de papier comme le Capitaine Renard l'avait préparé: elles furent continuées avec des ballons de baudruche, et le 21 Mars 1893 « l'Aérophile », ballon de baudruche, de 113 mc. atteignit une altitude voisine de 15000 mètres; ces lancers furent répétés à diverses époques de l'année en 1894, 95, 96, 97, 98.

En 1898 l'Observatoire de météorologie dynamique, situé à Trappes près Paris et dirigé par M. Teisserenc de Bort, commença des lancers de ballons sondes de papier, et, depuis cette époque il a été lancé des ballons sondes plusieurs fois par cet établissement; le nombre total des ballons est à l'heure actuelle (Décembre 1903) supérieur à 820 et l'altitude de 14 kilométres a été atteinte ou dépassée 230 fois (18.000 m. 1 fois).

A Berlin on a commencé des experiences par ballons-sondes en May 1894. Les hauteurs atteintes en 1894 et 1895 ont été voisines de 1900 mètres. Les lancers des ballons-sondes n'ont pu être nombreux jusqu'en 1900 ou on a commencé à en lancer un ou deux chaque mois ».

verso il cielo. Non vi sono solo gli inconvenienti del gelare del lubrificante dei perni, o — difficoltà specifica per la determinazione della temperatura — l'essere tolto il contatto diretto dell'istrumento con l'atmosfera dallo strato di ghiaccio che vi si depone per l'umidità di essa; ma anche quelli — che non furono ancora potuti vincere — dell'essere cotesto strato di ghiaccio ben presto mutato in un grosso blocco che irrigidisce tutte le parti ed impedisce ogni funzionamento, e del penetrare che fa, per tutto, la neve (1).

L'Osservatorio della vetta del Monte Bianco.

Dove esistono siffatte difficoltà provenienti da rigore di clima, anche quando non si tratti di località abbandonata, la registrazione automatica è possibile solo ricorrendo ad artifici speciali, tra cui precipuo l'impiego della corrente elettrica.

Offre esempio — forse il più cospicuo — di coteste disposizioni quella del dr. Theorell nel termometro del meteorografo da lui costruito per l' Osservatorio di Upsala — Atti della Soc. R. delle Sc. di Upsala, nov. 1868 — ed adottato poi — con le modificazioni introdottevi nel 1869 — agli osservatorî di Vienna, di Copenhagen, e, crediamo, di altre città del nord. Il quadro per la registrazione sta entro l'osservatorio, in una sala riscaldabile. — Il termometro — per restringerci ad esso — naturalmente, è collocato fuori dell'edificio, ma ne è esposto all'aria il solo bulbo: il cannello — a diametro interno molto maggiore dell' ordinario, aperto alla sommità e attraversato nella parte superiore da un filo rettilineo di acciaio — sta in una cassa di zinco ermeticamente chiusa. Il filo è mobile per un congegno speciale, ed ogni quindici minuti — mediante un giuoco di elettrocalamite — si abbassa — salvo risalire tosto — a toccare il mercurio. Le cose sono così disposte che — mercè la corrente elettrica ed organi meccanici opportuni — un sistema di *ruote dei tipi* — i cui movimenti sono solidali con quelli del filo — presenti alla carta su cui deve avvenire la registrazione precisamente i denti muniti delle cifre formanti il numero corrispondente alla temperatura da registrarsi, la quale è quella segnata dalla posizione del mercurio ove si è prodotto il contatto col filo d'acciaio, contatto determinante lo stabilirsi della corrente elettrica. Inutile dire che nello stesso momento carta e denti delle ruote dei tipi vengono pure in contatto, per cui su la prima si stampa il numero voluto.

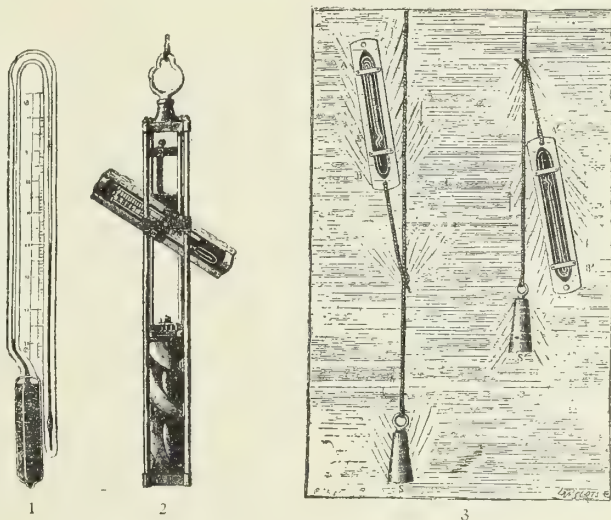
Non minori difficoltà presenta la determinazione della temperatura dei

(1) Su queste difficoltà che si riscontrano per tutto ove le condizioni climatologiche sono, per cotesto rispetto, paragonabili a quelle della vetta del Monte Bianco, veggasi la interessantissima Relaz. di Umberto Cagni su le « Osserv. Meteoriche comp. alla Baja di Teplitz », pag. 211 del Vol. *Osserv. Scient. eseg. dur. la Spediz. Polare di* S. A. R. Luigi di Savoia, Duca degli Abruzzi, *Milano*, Hoepli, 1903.

mari; elemento che è pure di grande importanza: ad esso sono legate la circolazione oceanica e la distribuzione delle specie viventi nei mari; è il termometro che rivela al transatlantico l'insidia dell'*iceberg* lontano, ancora invisibile, e che gli annuncia il *Gulfstream* (1).

La determinazione della temperatura degli stati superficiali e di quelli pochissimo profondi si fa ancora attingendo — rispettivamente con un secchio, o con un recipiente cilindrico a teste aprentisi per il moto di discesa e richiudendentesi durante la fase di salita — una certa quantità di acqua, ed immergendovi il termometro non appena è giunto a bordo. Come si vede, è determinazione molto semplice e facile; sicura anche se non vi sono eccessive differenze di temperatura tra l'acqua e l'aria esterna.

La cosa cambia quando si tratta di una maggiore profondità. Si hanno allora le difficoltà proprie di qualunque operazione di sondaggio — immersione, rilevamento, determinazione della profondità corretta dalla inflessione del filo di sonda operata dalle correnti o dai moti della nave — ed in più la pressione — sul serbatoio termometrico — della colonna sovrastante di acqua — che può essere di centinaia e centinaia di atmosfere — nonché l' azione perturbatrice della temperatura degli strati che il termometro deve attraversare per ritornare alla superficie; azione tanto più importante quanto maggiore è il tempo per cui dura il rilevamento. È un genere di ricerche al quale furono destinati mezzi adatti e da cui si ebbero risultati attendibili ed utili solo nel secolo XIX, ed ancora non nei primi anni: nei viaggi del Parry — quantunque fino dal primo l'Ammiragliato inglese gli avesse imposto nelle istruzioni di prendere « a correct register » della temperatura del mare alla superficie ed a varie profondità — i mezzi di esplorazione si riducevano a qualche termografo del Six, e la condizione durò in appresso per molto tempo, sicché

1 2 3

Termometro di Negretti e Zambra per sondaggio.

Legg. espl. — Fig. 1. Termom. a strozzatura. Quando si supp. che abbia preso la temp. vol. viene rovesciato: la colonnina di merc. che sta oltre la strozzatura si separa dal resto, e siccome la lungh. ne è proporz. alla temp., si può poi dedurre a bordo quale era la temp. alla quale fu op. il rovesciamento.

Fig. 2. App. per il rovesc. Il termom. è mont. in una specie di quadro metallico che si rov. quando l' elice sottop. gira nel senso voluto dal moto di rilevamento.

Fig. 3. Altro sist. per il rovesciamento. Il term., rettilineo, è fiss. su una tavoletta di legno munita di doppio fondo conten. pallini di piombo che lo zavorrano in modo che il sist. ha la stessa dens. specif. dell'acqua di mare. La tav. è attacc. con una funicella alla corda di scandaglio. La figura dice chiar. l'infl. che su la posiz. del term. esercita la resistenza dell'acqua al moto di discesa ed a quello di ascesa.

(1) Già verso la metà del secolo XVIII i balenieri di Nantucket ed i marinai di Rhode Island erano giunti con l'esperienza a comprendere come convenisse valersi della *Corrente del Golfo* per « discendere » in Inghilterra e ritornare con la controcorrente polare: nei loro viaggi guadagnavano così, in media, 120 chilometri al giorno sui bastimenti delle altre nazioni. Fu il Franklin, che, nel 1775, scoperse come bastasse immergere un termometro nell'acqua dell'Atlantico per conoscere se, o meno, la nave si trova in quel « fiume più ripido del Rio delle Amazzoni, più impetuoso del Missisipì, tale che non ne rappresenta la millesima parte la massa d'acqua di entrambi questi fiumi insieme ». E la scoperta parve al Franklin di tanta importanza per la navigazione che fino a quando non fu terminata la guerra tra l'Inghilterra e le colonie d'America insorte, la tenne celata nel timore che la prima ne approfittasse per mandare con maggiore celerità navi ed uomini a domare la rivolta.

verso la metà del secolo, aveva ancora potuto apparire una grande invenzione quella del termometro bimetallico da sonda a cui Enrico Johnson era stato condotto dalla osservazione intorno alla pressione dell'acqua sul bulbo termometrico, fatta dal Glaisher in occasione degli esperimenti del 1844 su la temperatura dell' acqua del Tamigi presso Greenwich. Ed è noto del resto come la scienza e l'arte dello scandagliare, cominciate con l'imperfettissimo apparecchio di Sir James Ross — 1818 — non divenissero meno rudimentali ed alquanto più sicure se non nel 1854 con lo scandaglio del Brooke.

Malgrado le difficoltà, la determinazione della temperatura delle acque anche alle profondità dei maggiori abissi oceanici — di cui danno l'idea quella di 8341 m. rilevata nell'Atlantico del Nord dal « Blacke » nel 1883 e l'altra di 8513 trovata dal « Tuscarora » nel Pacifico settentrionale presso le Isole Aleutine — nella seconda metà del secolo ha progredito così che il Nansen — *Scientific Results,* T. III, *The Oceanography of the North Polar Basin* — riferendosi ai lavori compiuti specialmente dall'Ekman — *Kongl. Svenska Vetensk. Ak. Handl.* 1870, I — dal Tornöe — *Chemistry*, *The Norw. North Atl. Esped. 1876-78*, Cristiania, 1880, Vol. II — ed alle esperienze istituite da lui stesso nella primavera del 1899 alla Stazione Biologica di Droback nel fjord di Cristiania ed altrove, scriveva: « se potessi ora ripetere il nostro lavoro, sarei in grado di determinare la temperatura di tutti gli strati di acqua con la sicurezza assoluta di *un centesimo* di grado centigrado ». Sul valore delle quali parole è a notarsi che il discorso si riferisce a materiale che, se non riguarda profondità pari a quelle sopraricordate, ne inchiude pur sempre di molto grandi — fino a 3800 m., 17 agosto 1894 — e temperature dell' aria esterna scendenti fino -40° — 2 dicembre 1895 —.

In coteste determinazioni, all'uso di quei primi termografi del Six cui fu accennato successe l'altro di quel termometro del Walferdin, che è descritto su tutti i libri di fisica, che fu da lui proposto come termometro a massima in una comunicazione — *C. R. de l'Ac. des Sciences,* a 1854, T 38, p. 770 — e che il Walferdin stesso — chiudendolo in tubo di vetro di oltre 2 mm. di spessore così che resistesse a pressioni di oltre 80 atmosfere — usava nel 1856 nei pozzi del Creuzot. Successe pure l'uso di quello del Miller — costruito dal Casella — che è un termografo a massima e minima del Six e Bellani con un involucro robusto di vetro, in cui si introducono, prima della chiusura, dell'alcole ed una bolla d'aria, allo scopo di togliere l'effetto della enorme pressione dell'acqua.

Negretti e Zambra idearono di usare un termometro ordinario a mercurio disponendolo — oltre che con involucro robusto di vetro e mercurio e bolla d'aria nell'intercapedine — in modo che una strozzatura separi il liquido del cannello dal rimanente, che quando si suppone che esso abbia preso la temperatura voluta si possa rovesciarlo, e che abbia a mantenersi, così, separata — fino a lettura fatta — la colonna indicatrice della temperatura raggiunta.

E siccome il meccanismo di rovesciamento del quadro, in cui il termometro veniva montato, non sempre rispondeva allo scopo, i costruttori lon-

dinesi finirono per fissare il termometro ad un quadro in legno a doppio fondo in cui sta una zavorra di pallini di piombo: il quadro appeso a fune legata alla linea di sonda assume nella dimora sul fondo e mantiene nel rilevamento posizione opposta a quella che forzatamente ha nella discesa.

Ultimamente poi il *Chabaud*, faceva alla disposizione della strozzatura una modificazione, presentata dal Principe Alberto di Monaco all'*Acadèmie des Sciences* di Parigi e descritta in *C. R.* a. 1892, T. CXIV, p. 65 — intesa ad ovviare l'inconveniente del fendersi del termometro dopo un certo tempo dacchè lo si usa, per la pressione che il mercurio esercita appunto nella strozzatura durante il rilevamento.

Al solo uso dei termografi descritti — uso generale presso le marine di tutte le nazioni, ed a cui sono dovuti i risultati ottenuti nelle campagne celebri dell'ultimo quarto di secolo, quali quelle del *Challenger*, del *Tuscarora*, del *Porcupine*, del *Lightning*, del *Talisman* e della nave italiana *Washington* alla storia della quale è legato il nome del Magnaghi che ne diresse tutto il lavoro scientifico, portando notevoli perfezionamenti nel materiale di sondaggio — all'uso, diciamo, dei termografi descritti, talvolta anche leggermente modificati — così quelli di Negretti e Zambra impiegati nella spedizione del *Talisman* dal Milne Edwards, ed in altre successive, erano rettilinei — si accoppiò l'uso delle « bottiglie » atte a raccogliere campioni dell'acqua: esse, ove opportunamente costruite, come la *Insulated water-bottle* » di Otto Pettersson — *Scottish Geogr. Mag., June to Sept.* 1894, pag. 284-286, — permettono di eseguire a bordo, e mediante un termometro ordinario, la determinazione della temperatura. Malgrado le correzioni da apportarsi — tra cui ricorderemo quella dovuta al raffreddarsi spontaneo dell'acqua per la dilatazione prodotta in essa dal cessare della pressione a cui era soggetta *in situ* (1), è forse cotesto il metodo che dà maggiore affidamento di precisione.

Termometro da sonda del Chabaud. — Dalla mon. orig. Fig. 1, mod. prim.; 2, mod. n.

E qui dobbiamo ripetere quanto già altrove fummo costretti a dire: la rassegna fatta — degli apparecchi e metodi di misura delle temperature — relativi al secolo XIX, è ben lungi dall'essere completa.

Ma per il rimanente dobbiamo attenerci ad un laconismo ancora maggiore di quello adottato fin qui.

Sorvoleremo pertanto sui *geotermometri* — destinati a misurare la tem-

(1) Ad esempio, e per dare un'idea del grado di esattezza a cui si mira oggi anche in coteste ricerche — Otto Pettersson, *A Reviw of Svedish Hydr. Research. in the Baltic and the North Seas*, cit. del Nansen nel già ricordato *The Ocean of the N. P B* — per profondità di 400 metri e per la temperatura dell'acqua di + 3°,95 centig. indica 0°,028 come numero da aggiungersi per correzione del raffreddamento dovuto al cessare della pressione. Il Nansen, per l'acqua — più fredda — del Bacino Polare Artico, dà una tabella da cui togliamo i seguenti numeri:

per prof. di 100 m. . . .	+ 0°,002 C.	per 1200 m. . .	+ 0°,041 C.
400 »	16	» 1600 »	51
800 »	30	» 2000 »	61
1000 »	36	» 2400 »	70

peratura del suolo e della crosta terrestre — e consistenti, per piccole profondità, in termometri a mercurio affondati ed a canna abbastanza lunga perchè la lettura si possa fare all'esterno ed accoppiati con canna da termometro a mercurio senza serbatoio per correggere la dilatazione propria della colonna mercuriale, dilatazione da tenersi distinta da quella del liquido nel serbatoio e che sola misura la temperatura dal punto in cui il bulbo si trova; ovvero in termometri elettrici come usarono i Becquerel nelle loro determinazioni fino a 30 metri del sottosuolo al Jardin des Plantes; ovvero in termometri a massima come — fu già detto incidentalmente — fece il Walferdin.

Il *regolatore* di temperatura — per l'inverno — delle sale del *Bur. Int. des P. et M.*

Dalle pubbl. del *Bureau*, per cort. conc. È a gaz e per stufe a gaz. Fu immag. dal dir. Benoit. « Il gaz — Chappuis, *La Conv. du Mètre*, pag. 24 — passa continuamente per una picc. chiav. che si mette *en veilleuse*, ma l'alimentaz. princip. è fatta da un ramo della canalizz. Un tubo di vetro che porta una fessura presso la sua estrem. pesca nel merc. che chiude un grosso termom. ad essenza di petrolio. Cotesto regolatore, il cui funzion. è evid., mantiene la temp. di una sala, entro l'appross. del decimo di grado per tutto il tempo per cui la temp. est. rimane inf. a quella per la quale esso è regolato ».

Dei *termometri metallici* faremo solo il nome, ricordando però in particolare quello del Bréguet. — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1817, T. V, p. 312 — a lamine d'argento e di platino saldate con oro in tutta la loro lunghezza, descritto anche nei trattati elementari, e di cui il Gay Lussac scriveva che, essendo a nastro dello spessore di $^1/_{50}$ di millimetro e perciò « tout en surface », accusa le variazioni di temperatura « avec une *promptitude extrême* et qu' on chercherait vainement dans les thermomètres à mercure les plus sensibles et même dans les thermomètres à air ».

Nemmeno ci soffermeremo sugli *avvisatori di temperatura* — il cui giuoco, è ordinariamente quello di mettere in azione una soneria elettrica, quando il deformarsi o lo spostarsi di un pezzo metallico per opera del calore, lo porta a chiudere il circuito di una pila — o sui *regolatori*, o su invenzioni analoghe ai *campioni fusibili* di Lauth e Vogt, o su quelli di Seger direttore di un laboratorio di ricerche ceramiche alla manifattura reale di Berlino — consistenti in conetti fatti con sabbia quarzosa pura, feldispato di Norvegia, carbonato puro di calce e caolino di Zettlitz, e che, secondo la composizione e la temperatura, si rammolliscono e deformano più o meno, offrendo un mezzo comodo e sicuro nella regolazione dei forni.

Così pure ci limiteremo a ricordare come uno dei metodi di cui si valsero e valgono i fisici è quello *calorimetrico*, nel quale la misura di una temperatura si fa dipendere da quella di una quantità di calore: e come il Berthelot — *Sur une nouv. méth. pour la mes. des temp.*, *Journ. de Phys.* serie III T. IV, p. 357, a. 1895 — mettendo esperienze del Mascart in rapporto con altre del Benoit, e di Chappuis et Rivière — arrivava a stabilire — per relazioni che esistono tra la tempe-

ratura dei gas e la deviazione di un raggio di luce che li attraversa — un metodo che consente « de prendre le température d'un milieu par le simple examen d'un rayon lumineux », che è indipendente « de la nature de l'enveloppe thermométrique et même de sa forme et de sa dimension » e che « permet par là d'operer sur les gaz contenus dans l'extérieur des hauts fourneaux, du four électrique etc. ».

Sarà invece necessario, prima di chiudere questo capitolo, il mettere in rilievo un fatto veramente singolare.

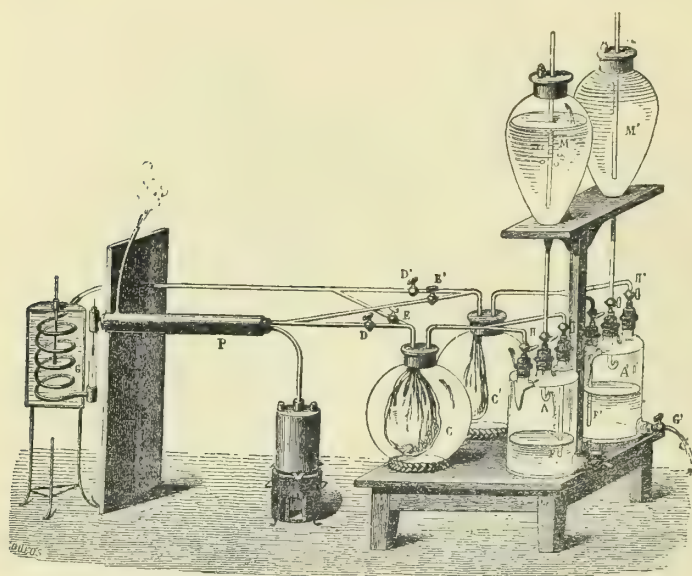
Nel secolo XIX — abbiamo esposto quanto basta a provarlo — la misura delle temperature ha raggiunto un grado molto alto di perfezione. Di più la correlazione tra i vari ordini di fatti ha persuaso i fisici a fissare — quasi diremmo: ha imposto ad essi — un sistema razionale di misure, che dal nome delle tre unità fondamentali — di lunghezza, di massa, di tempo — — si chiama appunto *sistema centimetro-grammo-secondo.* È un sistema di misure *assolute*, stabilito logicamente su fatti della natura — epperò universali — non empiricamente su basi affatto arbitrarie, come lo erano il piede o la libbra —: ed in cotesto sistema di misure entrano quelle della forza, del lavoro, della potenza, come quelle inerenti alla corrente elettrica ed ai suoi effetti. Ebbene, il secolo che in un certo senso si potrebbe dire della unità delle energie fisiche, e che conta tra le maggiori conquiste l'avere stabilito e misurato i rapporti tra il calore ed il lavoro meccanico, è tramontato senza che fosse fissata per le temperature una unità di misura che potesse entrare armonicamente nel sistema centimetro-grammo-secondo. Il grado termometrico è ancora oggi la centesima parte dell' intervallo tra quei punti fissi — non meno arbitrari del grado — che costituivano i capisaldi per i fisici della prima metà del secolo XVIII.

Tanta è ancora — pure in sì grande rinnovamento di idee — la potenza del passato pur che solo la eredità di esso non inchiuda l'assurdo!

III.

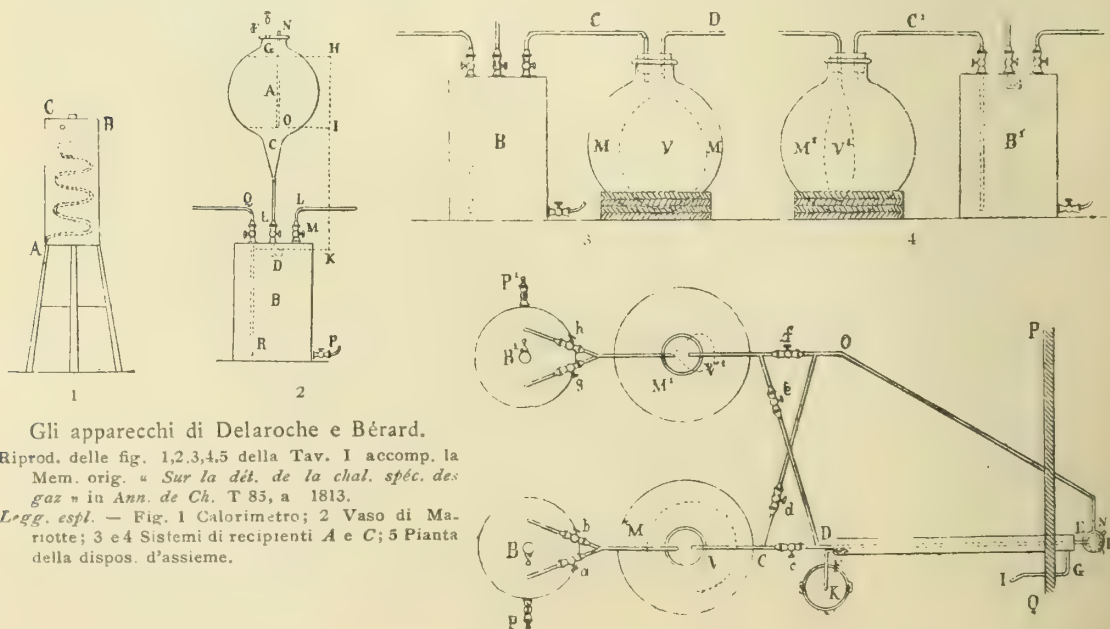
La Calorimetria. — Cambiamenti di stato fisico.

Quanto fu detto testè per il valore puramente empirico del grado termometrico è a ripetersi per quello dell'unità di misura delle quantità del calore: alla fine del secolo XIX essa era ancora — ed è tuttora, e lo sarà forse per lungo tempo — la *caloria*, quantità di calore occorrente ad elevare da 0^0 ad 1^0 (1) la temperatura di un chilogrammo o di un grammo — secondo che si tratta della *grande caloria* o della *piccola*, introdottasi molto più tardi — di acqua distillata. Si era pensato, è vero, che — poichè il calore è forza viva — si può — ed è logico il farlo — basarne su i concetti della meccanica l'unità di misura, e che essa deve pertanto consistere nella quantità di calore a cui corrisponde l'unità meccanica di lavoro: ma la *termia* — come propose di chiamarla Gabriele Lippmann, l'eminente professore della

(1) Fu anche proposto e caldeggiato, ma non ancora adottato, di sostituire il calore specifico — dell'acqua distillata s'intende — a + 15.°.

Gli apparecchi di Delaroche e Bérard.

Veduta prospettica quale può desumersi dai disegni accompagnanti la loro Memoria. *Legg. espl.* — *M* vaso di Mariotte, la cui acqua scendendo in *A* ne scaccia l'aria: questa per il tubo *H* si porta in *C*, comprimendo la vescica ripiena del gaz sottop. ad esp. e che per *E* si porta al tubo conten. nel manicotto *P*: in questo circola vapore d'acqua forn. da una caldaietta. Il gaz riscaldato passa nel calorim. *G* ove cede all'acqua il suo calore. Dal serpentino, per *D'* passa nella vescica in *C'*, scacciando l'aria che a sua volta, premendo l'acqua di *A'*, la fa effluire da opport. chiavetta. Quando tutto il gaz è passato nella seconda vescica, si invertono le chiavi e si produce la circolaz. in senso inverso. Così i due fisici, dal riscald. dell'acqua del calorim. determinav. il calore spec. del gaz, valendosi costantem. della stessa quantità di esso.

Sorbona — era alla fine del secolo, ed è tuttora, ben lontana dall' entrare nell'uso.

Su le misure, poi, delle quantità di calore non ci sarà possibile che una rapidissima enumerazione dei lavori principali, mentre su tutti è da osservare che dà loro una speciale importanza di fronte alla scienza e di fronte alla pratica la natura del problema che essi mirano a risolvere: misurare il *calore specifico* dei corpi o le *calorie di fusione* o quelle *di vaporizzazione* o quelle *combustione*, insomma la quantità di calore corrispondente ad un qualsiasi fenomeno fisico, o chimico, è, per la scienza, misurare il lavoro che le forze della natura compiono su le particelle invisibili quando avvengono nei corpi mutazioni di temperatura o di stato fisico o di altre condizioni; è, per l'industria, conoscere l' energia che deve esservi spesa o

Gli apparecchi di Delaroche e Bérard.

Riprod. delle fig. 1,2,3,4,5 della Tav. I accomp. la Mem. orig. « *Sur la dét. de la chal. spéc. des gaz* » in *Ann. de Ch.* T 85, a 1813.

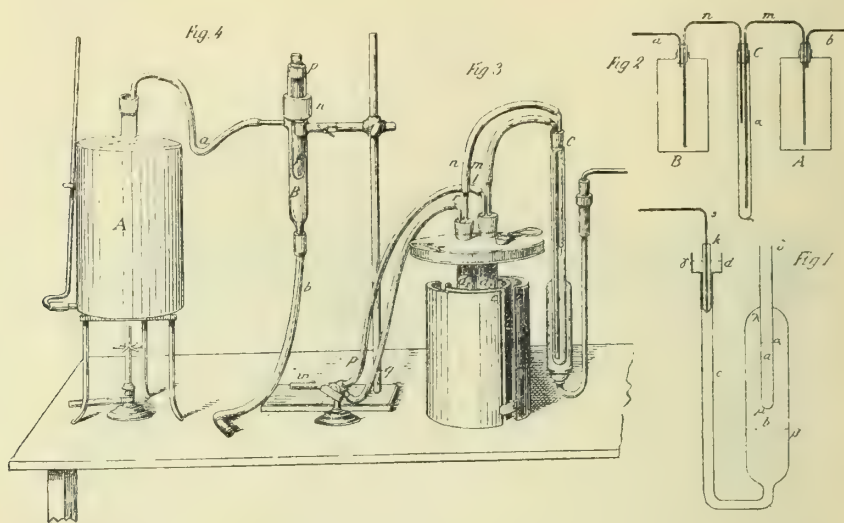
Legg. espl. — Fig. 1 Calorimetro; 2 Vaso di Mariotte; 3 e 4 Sistemi di recipienti *A* e *C*; 5 Pianta della dispos. d'assieme.

che può esserne sviluppata. Come si vede, il problema è ad un tempo di pura speculazione e di economia.

La sua importanza scientifica era stata tosto intuita al primo apparire delle nuove idee sul calore. Onde, il Gay Lussac fino dai primi anni del secolo compieva, sui calori specifici dei gas, quelle ricerche che comunicava

Victor Regnault.
Riprod. dal ritratto di L. Robert (Collez. della *Manufacture de porcelaine* di Sèvres) (1).

all'*Acad. d. Sc.* nel 1806 e 1812, e l'Accademia stessa — seduta del 7 gennaio 1811 — non dubitava di assegnare quale tema per il concorso di fisica per il 1813 la ricerca del calore specifico dei gas, dando così occasione alla classica memoria, che venne poi premiata, *Sur la déterm. de la chal. spécif. des diff. gaz* — rip. in *Ann. de Ch.*, a. 1813. T. LXXXV, pag. 72 a 110, e 113 a 182 — di F. Delaroche — *docteur médecin*, com'egli stesso vi si qualifica — e di G. E. Bérard.

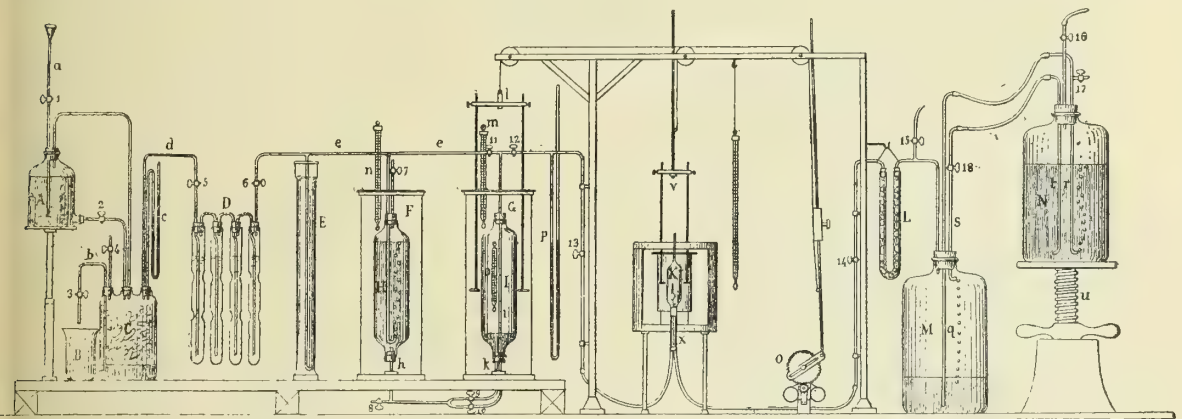
(1) Il ritratto figurava al « *Musée Rétrospectif du Groupe V, Électricité* » dell'Esposizione di Parigi del 1900, e trovasi pubbl. a pag. 50 del relativo « *Rapport du Comité d'Installation* » dell'ing. comm. E. Sartiaux, e nel vol. « *Principales Découvertes et Pubblications concernant l'Élect du 1562 à 1900* » di E. Sartiaux e M. Aliamet, Paris, Rueff, 1903. — Mi è caro il rendere grazie all'eminente Direttore Generale dei *Services Électriques della Cie. du Chemin de Fer du Nord* e al Sig. Aliamet per la cortese concessione del loro *cliché*.

Il calorimetro del Bunsen.

Riprod. delle fig. 1,2,3,4 della Tav. I che accomp. la monog. orig. « *Calorimetrische Untersuchungen* » in *Ann. der Phys. u. Ch.* a. 1870, T. CXLI, p. 1 a 31.

Legg. espl. — Fig. 1; *a* tubo in vetro sott. cont. acqua a 0°, e in cui si pone il cerpo sul quale si sperim., risc. prev. a temp. conv.; *bμλ* spazio cont. il ghiaccio la cui fus. serve a determ. il calore ceduto dal corpo; *βcks* tubo rip. di merc. med. il quale si fa la valutaz. della variaz. di vol. avvenuta nella fus. del ghiaccio. — Fig. 2 disp. per far passare in *a* una corr. di alcole prentiv. raffredd. con misc. frig. a — 20°, allo scopo di prod. la congelaz. dell'acqua int. ad *a*. Fig. 3 ved. d'ins. dell'app. preced. quando si fa pass. in *a* la corr. di alcole raffredd. — Fig. 4 app. di scaldam.

Lasciando, per un momento, i gas, e venendo ai solidi ed ai liquidi, è a citarsi subito l'altro lavoro, pure classico, *Rech. sur quelques points imp. de la théorie de la chal.* di Petit et Dulong — teniamo quest'ordine nel nominare gli autori perchè è quello da essi tenuto —, presentato all'*Acad. des Sc.* il 12 aprile 1819 — rip. anche in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1819, T. X, p. 395 a 413 — nel quale essi riferiscono quelle esperienze a cui erano stati guidati dalla convinzione che « *certaines propriétés de la matière se présenteraient sous des formes plus simples et se laisseraient exprimer par des lois plus régulières et moins compliquées si l'on pouvait les rapporter aux éléments dont elles dependent immediatement* » e che li avevano portati — studiando i calori specifici degli elementi — *des corps simples* — alla celebre legge che « *les atomes de tous les corps simples ont exactement la même capacité pour la chaleur* » ossia che occorre una stessa quantità di calore per riscaldare ugualmente un atomo di tutti i corpi semplici. Legge, cotesta, che rappresenta uno dei primi frutti di studi basati su la ipotesi atomica, e che — mentre rispecchia la semplicità delle grandi linee costituenti il codice che governa l'universo sensibile — ha finito per fornire una prova di più della cautela con cui vuole essere interpretata la natura: essa infatti — come hanno provato gli studi successivi, segnatamente alcuni del Regnault (1) — sarebbe rigorosamente vera, quando si potessero ottenere tutte le sostanze in uno stato fisico perfettamente identico.

(1) *Recherches sur la chal. spéc. des corps simples et composés*, I mem. letta all'*Acad. d. Sc.* il 13 apr. 1840, conten. in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1840, T. LXXIII., e relativa a 28 elementi — rame, ferro, zinco, argento, arsenico, cadmio, piombo, bismuto, antimonio, stagno, nickel, cobalto, platino, palladio, oro, tungsteno, molibdeno, uranio, solto, selenio, tellurio, iodio, iridio, mercurio, carbonio, fosforo, manganese, ferro a diversi gradi di carburazione. — *Id.* l'ultima parte della II mem. letta all'*Ac. d. Sc.* l'11 genn. 1841, rip. in *Ann. d. Ch. et*

Rende ancora memoranda, nella storia della scienza, cotesta legge il fatto che, mentre essa fu stabilita su un numero molto limitato di elementi — tredici soli, e cioè: bismuto, piombo, oro, platino, stagno, argento, zinco, tellurio, rame, nickel, ferro, cobalto e zolfo — si fu per essa — noteremo con quell'eminente fisico italiano che fu Amedeo Avogadro — che « la ricerca dei calori specifici dei corpi solidi e liquidi ha acquistata una grande importanza agli occhi dei fisici e de' chimici » (1) e — conseguenza

Il calorimetro del Thomsen.

Ripr. della Fig. 5, Tav. VII. del vol. CXLII *Ann. der Phys. u. Ch.* in cui, pag. 337 a 379 è cont. a mon. orig. del Thomsen « *Thermochemische Untersuchungen* ».

Legg. espl. — *AC* generat. d'idrogeno; *D* depuratore; *E* regolatore di press.; *HJ* gazometro; *K* calorimetro; *MN* app. per fornire al calorim. l'ossigeno.

di ciò — da essa si parte — può ben dirsi — tutta una branca d'investigazioni importantissime.

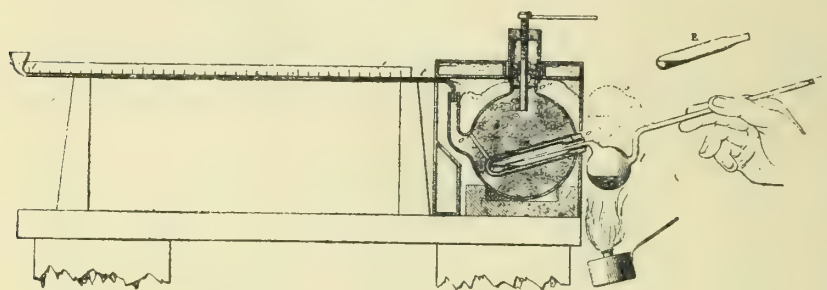
Sono le investigazioni che — mirando alle relazioni tra il calore e la materia negli elementi e nei composti — dovevano — per le leggi dell'Avogadro (2)

de Phys. a. 1841, T. I, p. 129 a 207, relativa a dieci tipi di carbone ed al solfo. — *Note sur la chal. spéc. du Potassium*, e *Note sur la chal. spéc. et la chal. lat. de fusion du brome, et sur la chal. spéc. du merc. sol.*, entrambe in *Ann de Ch. et de Phys.*, a. 1849, T. XXVI, p. 261 e 268 rispettivamente. — *Note sur la ch. sp. du Phosph. rouge*, in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1853, T. XXXVIII, p. 129.

Sono da aggiungersi a questa categoria di lavori del Regnault anche gli studi sul cal. spec. dell'osmio, rodio, iridio, alluminio, cobalto, nickel, potassio, litio e selenio, e gli altri sui calori specifici delle grafiti naturali ed artificiali; studi a cui era stato invogliato, quanto ai primi, dall'Esposizione di Parigi del 1855 che aveva « *fourni une occasion favorable* » mettendo a disposizione « *des corps simples, souvent très-purs et sur les quels* — dice appunto egli stesso — *je n'avais pas encore expérimenté* » e quanto ai secondi dai bei campioni di grafiti di Siberia e del Canadà che aveva potuto procurarsi all'Esposizione di Londra del 1862 e che aveva poi trattato insieme alle grafiti ottenute dagli oli pesanti della *Cie. Parisienne du gaz*. Si trovano entrambe negli *Ann de Ch. et de Phys.*, la prima nel T. XLVI, a. 1856, p. 257 a 301, l'altra nel T. VII, a. 1866, p. 451 a. 462.

(1) *Memorie della Soc. It. delle Sc.*, T. XX, pag. 451.

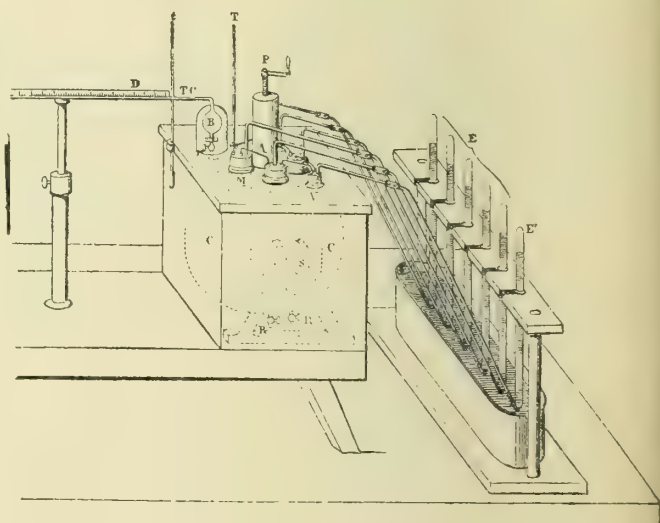
(2) « Il calore specifico dei gas composti, a volume uguale, è espresso dalla radice quadrata del numero intero o rotto dei volumi dei gas semplici che concorrono a formare un volume del gas composto ». Quindi, per la legge dei volumi del Gay-Lussac, « il calore spec. di un at. gaz. composto è espr. dalla rad. quadr. del numero int. o rotto di atomi gazosi sempl. che concorrono alla formaz. di quest'atomo composto ». E finalmente: « il calore specifico di ciasc. at. di un corpo comp., prendendo per un. il calore specif. di un corpo sempl. allo stato solido, è espresso approssimativ. dalla radice quadrata del num. che rappres. quanti atomi o porz. di at. sempl. entr. nella formaz dell'at. comp., numero che chiamiamo il *numero costitutivo* di quest'atomo. Questa legge .. si estende così anche ai corpi solidi ». Vegg. le due monografie dell'Avogadro: *Nuove considerazioni sulle affinità dei corpi pel calorico*, e *Memoria sui calori specifici dei corpi solidi e liquidi*, entrambe in *Mem. della Soc. It. delle Scienze*: la prima è in T. XIX, a. 1823, pag. 83 a 137, la seconda in T. XX, parte II, e venne pres. alla Società l'8 maggio 1832. — Dell'Avogadro sarebbero a citarsi anche: una Memoria pubbl. nella *Biblioteca Italiana*, dic. 1816 e genn. 1817, e due Memorie ins. nel T. XVIII delle *Mem.* cit. — Gli enunciati dati sopra si trovano in T. XX, pag. 452, 453, 576.

del Neumann (1), del Regnault (2), del Woestyn (3), per le esperienze numerose del Kopp (4) e del Berthelot — arrivare a rendere possibile un *Essai de Mécanique Chimique*, l'opera insigne con cui appunto il Berthelot riusciva a dare consistenza e corpo alle idee di una meccanica base della chimica, riconducendo la molecola ad un sistema dinamico ; idee ana-

Calorimetri a mercurio.

a Tipo originario ideato da Favre e Silbermann. Riprod. della Fig. 15, Tav. I, T. XXXVI, a. 1852, degli *Ann. de Ch. et de Phys.* parte III della Mon. orig. « *Rech sur les quant. de chal. degagées dans les act. chim. et mol.* ».

b Tipo perf. dal Favre. Ripr. della pag. 394, T. XXVI, a. 1872, degli stessi *Ann. de Ch. et de Phys.*, articolo del Favre « *Observ. sur les critiques dont le cal. à Merc. a été l'objet.* ». L'app. è disposto per ricerche su az. chim. ed elettr.

Legg. espl. — Fig. *a*: *b* pall. di vetro della cap. di 1 litro che si riempie di mercurio ; *o* ap. dest. al tubo *m* in ferro o plat. dest. a ricev. il tubo in vetro sottiliss. *E* in cui si pone il corpo, *o'* ap. destin. al tubo capillare *t* con cui si mis. la dilataz. del mercurio; *o''* apert. dest. ad uno stantuffo con cui si porta il merc. ad un punto determ. della scala al principio dell'esp. Dalla dilataz. del mercurio si ded. il calore ceduto dal corpo nel raffreddarsi.

Fig. *b*. — *CC* serb. calorim. in ghisa : *S* sopporto permettente di far oscill. *CC* per facilit. il riempim. dei serb. ; *RR* chiavi che serv. all'estr. dell'aria e alla introd. del merc. ; *P* stantuffo ; *Tt* termom. ; *V muffola* per un voltametro ; *M* muffola per la pila ; *E* provette per i gaz prov. dalla pila ; *E'* sim. per i gaz prov. dal voltametro.

loghe — però rispondenti maggiormente al vero — a quelle che al principio del secolo, nell'ordine della *statica*, il Berthollet aveva coltivato con una grande intuizione, e « *vaste ensemble* » diremo con lo stesso Berthelot (5) « *au sein duquel les travaux de plusieures générations de physiciens et de chimistes se trouvent pour la première fois réunis et coordonnés en un sistème commun* ».

(1) Riguarda i calori specifici di solfati e carbonati di tipo speciale : per essi l'eminente professore dell'Università di Königsberg trovò che in ciascuna classe di quei sali « i calori specifici sono in ragione inversa dei calori atomici »; Pag. 32 della memoria « *Untersuchung über die specifische Wärme der Mineralien;* in *Ann. der Physik u. Ch.* a. 1831, T. XXIII, p. 1 a 39.

(2) « *Dans tous les corps composés, de même composition atomique et de constitution chimique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques* » pag. 199 delle già citate *Rech. sur la chal. spécif. des corps simples et des corps composés,* mem. II, in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1841, T. I, pag. 129 a 207.

(3) « *La quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré le température du poids atomique d'un corp composé, est égale à la somme des quantités de chaleur nécessaires pour élever de 1 degré la température des atomes et fraction d'atomes composant l'atome composé* » pag. 296 della monog. del Woestyn : « *Note sur les chal. spéc.* », in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1848, T. 23, p. 295 a 302.

(4) *Untersuchungen über die specifische Wärme der starren und tropfbar-flüssigen Körper,* in *Ann. d. Chem. und Pharm.*, III Supplementband, p. 1, a 1864 e 1865.

(5) *Essai de Méc Ch.* T. I°, p. 755. — Paris, Dunod, 1879.

Ed aggiungeremo come nella cognizione delle condizioni tutte della meccanica molecolare sia forse la chiave di quella grande aspirazione della chimica che è nel trovare la via per operare direttamente ed a colpo sicuro la sintesi organica; quella sintesi che allo stato presente, e nella maggior parte dei casi, non può essere se non il frutto di un momento di concezione geniale — *pour l'heure*, dice il Pictet (1), *une synthèse chimique réalisée est l' heureuse solution due au génie d'un maître* — non è mai il portato sicuro di un procedimento a cui si giunga direttamente per raziocinio.

A portare la filosofia naturale al punto, di cui sono indici i lavori quali quello del Berthelot, non contribuirono solo i fisici già ricordati.

Fig. 1

Il *termocalorimetro* del Regnault.

Ripr. della Tav. I, fig. 5, T. XXXVII dei *Mém. de l'Acad. des Sciences de l'Inst. Imp. de France*, Parte II, a 1870. Mem. orig. del Regnault « *Sur la détente des gaz* ».

Legg. espl. — *abcd* recip. cil di ottone, diam. cm. 7, alt. cm 12, spess di oltre 1 mm. perchè resista a pressioni fino oltre le 12 atm.; *a'b'c'd'* recip. sim. a parete sottile; *BCD* recip. destin. ad avere temp. cort. necessaria a mantenersi durante l'esp.; *EFGH* vasca piena di acqua. Nell'int. di *abcd* un tubo capillare di arg.; intorno ad *a'b'c'd'* il serpentino *mnp* in cui si può far circol. aria compressa; lo spazio tra i due recip. *abcd*, *a'b'c'd'* si riempie con alcole assoluto, la cui dilataz. serv. a determ. la temp. med. il tubo *gh*.

Segnatamente vi ebbero parte meritevole di menzione speciale quanti operarono misure di calore sui gas, a cominciare dai « *manifacturiers* » Desormes e Clément (2) — i primi che abbiano fissato il rapporto importantissimo dei calori specifici dei gas a pressione costante ed a volume costante (3) — e continuando con una moltitudine di fisici, tra cui — pur limitandoci a quanti si occuparono di quel rapporto — Gay-Lussac e Welter (4), Masson (5), Cazin (6), Kohlrausch (7), Röntgen (8), Kundt e Warburg (9),

(1) *Essai d' une méthode générale de Synthèse Chimique.* — *Archives des Sc. Phys. et Nat.*, 3.° periodo, a. 1892, T. XXVIII, p. 397 a 409, 517 a 528, e a. 1893, T. XXIX, p. 5 a 27.

(2) *Determination expérimentale du zéro absolu de la chaleur et du calorique spécifique des gaz* t.° *Journ. de Phys.* de Delamétherie, T. LXXXIX, p. 321 a 346 e 428 a 455.

(3) Si pensi ad una massa di gas separata dall' aria esterna mercé uno stantuffo mobile: ove la si riscaldi, con l'obbligare lo stantuffo a spostarsi potrà espandersi: però, per farlo, dovrà vincere la pressione atmosferica esercitantesi su lo stantuffo, ossia compiere un lavoro. Quando invece si trattasse di una massa di gas chiusa in un recipiente mediante una chiavetta, quella dilatazione sarebbe impedita, ed il lavoro del muovere lo stantuffo — vincendo la pressione atmosferica opponentesi al moto — mancherebbe completamente. A parità di circostanze la quantità di calore occorrente a produrre una data elevazione di temperatura é nella prima condizione — che può essere quella della *pressione costante* — maggiore che nella seconda — *a volume costante*. Si hanno dunque dall'esperienza due elementi corrispondenti nel lavoro prodotto e nel calore consumato in più. Il lettore comprende subito la importanza di cotesto confronto,

(4) A coteste esperienze col nome soltanto del Gay-Lussac accenna Arago in quel rapporto che avemmo occasione di citare a pag. 136. Esse erano in corso di esecuzione al momento in cui il Laplace ne utilizzò i primi risultati per la verificazione della sua formola, e quanto se ne sa si trova nella *Mécanique Céleste*, Libro XII, Capitolo III.

(5) *Ann. de Ch. et de Phys.* a, 1858, T. LIII, p. 265.

(6) *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1862, T. LXVI, p. 206, e a. 1869, T. XX, p. 251

(7) *Pogg. Ann*, a. 1869, T. CXXXVI, p. 618.

(8) *Pogg. Ann.*, a. 1870, T. CXLI, p. 552, e 1873, T. CXLVIII, p. 580

(9) *Pogg. Ann.*, a. 1876, T. CXLVII, p. 353.

Hirn (1), de Lucchi (2) Martini (3), Strecker (4), e sopra tutti il Regnault (5), del quale si dura quasi fatica a comprendere come riuscisse a compiere tanta mole di lavori.

Circa i metodi impiegati nelle misure calorimetriche, si presentano prim quelli stessi della *fusione del ghiaccio* e *delle mescolanze* che erano stati ideati ed impiegati nel secolo antecedente — come fu detto a pag. 174. — Peró nel sec. XIX essi s'andarono perfezionando in modo notevolissimo. Cosi quello della fusione del ghiaccio, mercè il Bunsen — che, alla pesata dell'acqua formantesi per fusione del ghiaccio, sostituiva la misura della contrazione complessiva che si verifica nella massa appunto per quella fusione — diventava suscettibile di alta precisione , essendo eliminata, con altre meno

(1) *Exposition analitique et exspérimentale de la Théorie Mécanique de la Chaleur*, III[e] Édition., Paris, Gauthier-Villars, a. 1875, T. I, p. 111.

(2) « Determinazione del rapporto fra le capacità calorifiche dei vapori soprariscaldati dell'acqua e del fosforo » in *Nuovo Cimento*, a. 1882, 3.ª s., T. XI.

(3) « La velocità del suono nel cloro » in *Atti del R. Istituto Veneto di Sc. Lett. ed Arti*, a. 1881, serie V, T. VII.

(4) *Wied. Ann.*, a. 1882, T. XIII, p. 20.

(5) Oltre ai molti lavori di calorimetria citati sopra del Regnault, se ne hanno, di lui, copiosi ed importanti — così che di fronte ad essi impallidisce perfino il complesso degli altri — nei *Mémoires de l'Academie des Sciences*, e sono: I. le Mem. IX e X del T. XXI — già indicate a pag. 181, nota (10) —; II. *Mem. sur la chal. spéc. des fluides élastiques*, pres. all'*Acad. d. Sc.* il 18 apr. 1853, e *Deuxième Mém. sur les chal. lat. des vapeurs sous div. press.*, entrambe in T. XXVI dei *Mém.*, a. 1862, rispettiv. da pag. 1 a 333 e da 760 a 915; e III, infine, il *Mém. sur la détente des gaz*, che costituisce la II parte, a. 1870, p. 579 a 959 del T. XXXVII dei detti *Mém.*, — la prima, pag. 3 a 578, comprende l'altra celebre memoria *Sur la vitesse de propagation des ondes dans les milieux gazeux* da cui sono presi i dati relativi alle esperienze su la vel. di prop. del suono di cui, a proposito del Regnault, si parlò a pag. 137, 138, 139 —.

Sui lavori del Regnault vuole essere notato che nel tomo XXXVII dei *Mémoires*, e nella sua Nota *Sur la chaleur absorbée par la vaporisation de quelques substances très volatiles*, inserita in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1871, T. XXIV, p. 375, l'illustre uomo è incorso in uno strano errore di stampa; egli vi parla in moltissimi luoghi del tomo XXXI degli stessi *Mém.* come se contenesse lavori suoi, mentre invece quel tomo non contiene che memorie sugli insetti.: dovunque, il XXXI deve essere sostituito col XXVI, e dove si citano insieme il XXVI e XXXI deve leggersi sempre, rispettivamente, XXI di cui già si parlò a pag. 181, nota (10), e XXVI.

Notiamo da ultimo come una parte dei risultati di esperienze sia andata distrutta a cagione degli avvenimenti luttuosi, per la Francia, del 1870. Lo racconta il Regnault stesso nella Nota del 1871 testé citata. — T. XXIV degli *Ann. de Ch. et de Phys.* — e crediamo interessante riferire integralmente, per l'alta personalità scientifica di cui si tratta, una parte almeno di quel racconto in cui si parla anche di un altro cospicuo personaggio storico, l'allora Principe Reale di Prussia, Federico.

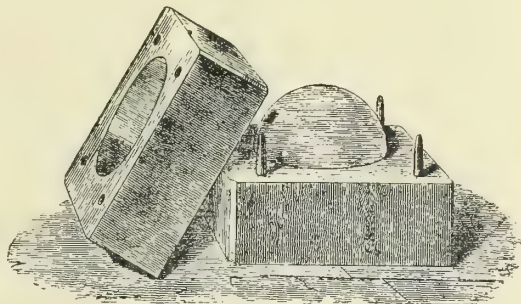
Dopo aver detto come non fosse riuscito a far entrare nel tomo XXXVII — già eccessivo rispetto alla consuetudine — la relazione di una parte delle sue esperienze — e come si proponesse di formare con esse un mezzo volume, prosegue: « La fatale année 1870 vint déranger ces projets et anéantir le fruit de plusieurs années de travail . .

Depuis plusieurs années, j'avais transporté mon laboratoire de recherches scientifiques à la nouvelle Manufacture de Sévres, située sur le bord de la Seine, à l'entrée du parc de Saint-Cloud, et dont la construction n'est pas encore achevée . . .et j'y avais installé la plupart des appareils et machines qui avaient servi à mes expériences antérieures, ainsi que ceux qui s'appliquaient aux recherches actuelles.

Après les premiers désastres des armées françaises, lorsque les armées allemandes marchaient sur Paris, je dus faire rentrer dans la capitale ce qu'il y avait de plus précieux à l'ancienne Manufacture, savoir les objets en magasin et ceux qui constituaient nótre musée céramique. Les temps et les moyens de transport ne permirent pas de faire rentrer également notre belle collection de modèles, nos moules et les appareils de fabrication. Quant à mes affaires personelles, mes livres et mes instruments, je ne pouvais pas songer à m'en occuper avant d'avoir achevé le transport des objets appartenant à l'établissement confié à mes soins. Les livres de ma bibliotèque furent ramenés à la vielle Manufacture, mais il me fut impossible de rien changer à mon laboratoire, installé dans la nouvelle.

Malheureseument, j'avais laissé dans ce laboratoire la partie de mes registres qui contenait les procés-verbaux des expériences dont je calculais alors les résultats, ainsi que des rédactions plus ou moins avancées, destinées à la pubblication. Mon intention était de les ramener le lendemain à la vielle Manufacture, mais l'ennemi ne m'en laissa pas le temps.

Les troupes prussiennes arrivérent à Sévres le 19 septembre; leurs avant-postes occupérent immédiate-

importanti, la grave causa di errore inerente alla impossibilità del pesare l'acqua onde restava imbevuto il ghiaccio del calorimetro. E l'altro delle mescolanze — specialmente per opera del Regnault e del Berthelot — con l'essersi trovato il mezzo di ovviare alle perdite — non facilmente valutabili — di calore, sia nel calorimetro che nell'aria, con l'isolarne bene le varie parti da quanto potrebbe sottrarre calore, col ridurre le masse nell'apparecchio e quelle usate nell' esperienza, col fare piccoli gli squilibri di temperatura, con una quantità, insomma, di sagaci modificazioni, diventava metodo indubbiamente della più alta squisitezza. Anche quell'altro vecchio metodo del Black del dedurre il calore specifico di un liquido dalla variazione di temperatura che produce — in una data massa di esso — la introduzione o la sottrazione di una quantità determinata di calore, anche quel metodo, diciamo, applicato in maniere svariatissime — il Joule e in seguito il Pfaundler e il Jamin introducevano il calore valendosi di spirali percorse da correnti elettriche, l'Hirn e il Marignac con un grosso termometro indicante esso stesso la sua temperatura, il Thomsen col bruciare nel calorimetro quantità ben determinate di idrogeno — divenne, si può dire, metodo di pratica corrente.

Esper. del Tyndall su la « plasticità » del ghiaccio
Una sfera di ghiaccio ottenuta per forte compressione entro uno stampo di bosso.

Non mancarono, naturalmente, metodi interamente nuovi.

Tale è quello detto *del raffreddamento* — perchè il confronto si porta sui raffreddamenti che si producono in tempo uguale in masse di sostanze diverse opportunamente scelte, disposte e riscaldate — ideato originariamente dal Leslie, usato dal Mayer, e che diede poi buoni frutti nelle mani di Dulong

ment les bâtiments non achevés de la nouvelle Manufacture, où ils se retranchèrent. Je ne pouvais plus songer à retirer de mon laboratoire ni mes instruments de précision ni mes papiers.

Le choses restèrent en cet état jusqu'au 13 octobre, où le commandant prussien nous força d'evacuer la vieille Manufacture, et nous ramena, avec escorte, jusque dans le haut du pays, vers Versailles. Arrivé à Versailles, je m'adressai au Prince Royal de Prusse, pour le prier d'éviter la destruction de ce qui restait encore à la Manufacture. Le Prince me reçut avec la plus grande bienveillance; il me proposa tous les moyens en son pouvoir pour sauvegarder l'établissement. C' est à l' aide des troupes prussiennes et des fourgons prussiens que je pus ramener à Versailles ce qui restait encore de précieux et de trasportable à la vielle Manufacture, ainsi que la totalité de ma bibliothèque. De plus j'obtins du Prince Royal que l'autorité allemande ferait afficher, sur toutes le portes d'entrée la défense de causer aucun dégât. Pour plus des sûreté, des sentinelles furent placées aux dites portes.

Je fus moins heureux pour la nouvelle Manufacture, qui se trouvait sous un feu continu. Trois fois, à des jours différents, je tentai, avec l'aide d'officiers prussiens et bavarois, de pénétrer dans mon laboratoire pour sauver mes papiers; mais je trouvai la porte fermée et les abords encombrés de barricades; je reconnus seulement que la defense allemande de causer des dégâts était apposée sur la porte.

Malheuresement pour moi, le bonnes intentions du commandant du troisième corps allemand n'ont pas produit l'effet désiré: mon laboratoire a été entièrement saccagé, tous mes instruments, même les grosses machines motrices, ont été brisés à coup de marteau; mes registres, mes papiers ont été brûlés ou déchirés Je n' ai réussi à sauver que quelques feuilles détachées, quelques rares portions de registres qui n'étaient pas entièrement consumés par le feu.

J'ai cru nécessaire de donner ces détails pour montrer aux savants par quelle cause je suis aujourd'hui dans l'impossibilité de publier des travaux dont j' ai annoncé précédemment l'exsistence: je ne puis même plus songer à refaire ces expériences, car tous mes instruments sont détruits et mon laboraroire anéanti ».

e Petit — se ne valsero nelle ricerche da cui furono condotti alla celebre legge — migliori, anzi ottimi, in quelle del Regnault.

Invenzione utile assai — sebbene il Berthelot ed altri non risparmiassero appunti — fu il *calorimetro a mercurio* ideato da Favre e Silbermann per una parte delle *Recherches sur les quant. de chal. dégagées dans les actions chim. et moléc.* (1); e meritevole d'essere segnalato anche il *termocalorimetro* del Regnault, di cui per un pezzo i fisici seppero ben poco, sì che il Jamin (2) ne scriveva valendosi di note manoscritte di un corso del Bertin agli allievi del secondo anno dell'*École Normale*, e di cui il Regnault pubblicò finalmente la descrizione particolareggiata ed i disegni nel T. XXXVII — p. 899 e seg. — dei *Mém. de l' Ac. des Sc.*, come appendice alla celebre memoia *Sur la détente des gaz*.

Sul quale apparecchio, per altro, non è a tacersi come, malgrado i molti pregi — tra cui quello del non richiedere quantità grandi delle sostanze su cui esperimentare e d'essere quindi applicabile a sostanze rare; requisito di tanta importanza che unicamente per raggiungere esso il Bunsen s'indusse agli studi, da cui venne il suo calorimetro a ghiaccio — malgrado, diciamo i molti pregi, il Regnault stesso — *Mém. sur la détente des gaz*, pag. 910 — si proponesse di modificarne la costruzione perchè presentava « *ce défaut grave d'être beaucoup plus influencé par le changement de pression que par la variation de température qui en résulte* » e « *la variation de température est le seul élément que nous ayons intérêt à connaître avec une très-grande précision* ».

L'esperimento del Thomson-Bottomley sul « regelo »
Disposizione con cui un blocco di ghiaccio rimane indiviso, sebbene sia stato attraversato da un filo metallico in modo che avrebbe dovuto rimanere separato in due parti.

Oggi, poi, l'industria possiede una bella serie di apparecchi specialmente destinati alla determinazione rapida di quell'elemento importante dal punto di vista del rendimento e del valore commerciale, che è il potere calorifico dei combustibili; apparecchi che vanno da quello « *for popular use* » di W. Thom-

(1) *Ann. de Ch. et de Phys. Parte I*, combustioni *vive*, per le cui misure fu usato il calorim. ad acqua, in T. 34, a. 1852, p. 357 a 450; *Parte II*, cal. relativo a fenomeni di decomposizioni chimiche, T. 36, a. 1852, p. 1 a 32; *Parte III*, descr. del calorimetro a mercurio, tomo 36 testé citato, p. 33 a 47, e reazioni chimiche per via umida, calori specifici e latenti di diversi corpi, calore sviluppato dalla condensazione dei gas nei corpi porosi, T. 37, a. 1853, p. 405 a 484; *Parte IV*, equivalenti calorifici ed osservazioni sugli effetti termici nei loro rapporti con l'affinità dei corpi e la stabilità dei composti, e *Parte V*, azioni chimiche dei raggi solari e calore svolto nelle az. chim. determinate dalla corrente della pila, entrambe nel T. 37, a. 1853, testé citato, la IV da pag. 484 a 497, la V da 497 a 508.

Il calorimetro a mercurio venne poi perfezionato dal Favre (V. illustr. a pag. 222)

(2) *Cours de Physique*, T. II, Fasc. II, pag. 31.

son agli altri più perfetti del Scheurer-Kestner, del Fischer, del Mahler (1).

Ma non ci è consentito entrare in particolari.

Dobbiamo anzi limitarci ad accennare solo di sfuggita ad altre serie di esperienze e di studi copiosi ed importanti, quali quelli sui cambiamenti di stato fisico, sui fenomeni — normali od anormali — che li accompagnano, su le tensioni e densità dei gas e vapori. Sono serie di esperienze e di studi nelle quali ci passerebbe davanti agli occhi una schiera numerosa di fisici d'ogni paese, ed in cui la scienza italiana sarebbe rappresentata dai nomi cospicui del Mossotti (2) e del Blaserna (3), del Belli (4) e del Naccari e del Pagliani (5), del Battelli (6), e di altri, tra cui alcuni che vennero ricordati a proposito degli studi su le dilatazioni. Ed anche qui riassumeremo leggi e fatti accertati durante il secolo XIX, perchè ne risulti lo stato delle cognizioni alla fine di esso.

I cristalli della neve.

I « fiori del ghiaccio ». Esp. del Tyndall.
« Quale è la struttura del ghiaccio sul quale sdrucciolìamo nell'inverno? Altrettanto meravigliosa quanto quella dei fiori della neve .. La stella a sei raggi è poi il tipo di struttura del ghiaccio dei nostri laghi, che è costituito da tali corpi raggruppati e disposti in modo meraviglioso.. Ponete una astra di ghiaccio tolta da un lago sul tragitto di un raggio concentrato di sole . . . ; una parte di questo raggio viene trattenuta, un'altra parte attraversa la lastra; la prima determina una liquefazione interna . . . . La liquefazione però non è uniforme; qua e là sul ghiaccio si vedono brillare diversi punti distinti, e ciascuno di questi punti é circondato da un tal fiore liquido a sei petali » Tyndall, « Le forma dell'acqua » Milano, Dumolard, 1877: pag. 96.

Sui calori specifici dei solidi e dei liquidi rimane quello che fu già riferito parlando della legge di Dulong e Petit e di quelle derivate dagli studi su le questioni del medesimo ordine: solo sarà da aggiungere che — Bède, Byström, Violle, Regnault, Weber — i calori specifici crescono con il crescere della temperatura, e che — Regnault, Hirn, Jamin e Amaury — il calore specifico dell'acqua anche in vicinanza alla temperatura del massimo di densità varia regolarmente, all' opposto di quanto avevano ritenuto dimostrato Pfaundler e Plater.

(1) Il lettore ne troverà buone descrizioni in « Scheurer-Kestner, *Pouvoir calorifique des combustibles* » Parigi, Masson 1896, oppure in « Fischer, *Die Chemische Technologie der Brennstoffe* », parte I, Braunschweig, Bieweg e Figli, 1897.

(2) « Formola per rappr. la tensione del vap. acqueo », in *Mem. della Soc. It. d. Sc*, a. 1837, T. XXI, p. 335 a 345.

(3) « Sulla teoria cinetica dei gas » in *Rendic. della R. Ac. dei Lincei* 5.ª s., aprile 1895, T. IV.

(4) « Nuovo sistema per mis. la tens. del vapore » Brescia, *Comment.* a 1833, pag. 54 a 59.

(5) « Su la tensione massima dei vapori di alcuni liquidi e su la loro dilatazione termica ». *Nuovo Cim.*; III.ª serie, T X, 1881, p. 40.

(6) « *Influence de la pression sur la température de fusion* » in *Journ. de Phys.*, a. 1887, serie 2.ª, T. VI, p. 90 a 100.

Sui calori specifici dei gas, oltre quanto venne detto relativamente ai loro valori a pressione costante od a volume costante, essi — Regnault, Winkelmann, Mallard e Le Chatelier, Berthelot e Vieille — sono indipendenti dalla pressione, e crescono con la temperatura.

Inoltre — Dulong, Mallard e Le Chatelier — il calore atomico di un gas risultante da combinazione di due gas semplici — ove la combinazione si compia senza contrazione — è uguale a quello dei componenti, se il volume si mantenga costante, cioè se manchi lavoro esterno che il gas debba compire mentre si va riscaldando; fatto cotesto di cui — dal punto di vista della teoria dinamica del calore — non è meno importante l'altro — stabilito da Mallard e Le Chatelier — che i calori specifici molecolari dei gas indecomposti, o formatisi senza condensazione, non solo sono uguali tra loro alle temperature basse, ma tali si conservano anche alle più elevate, il che significa essere identica ad ogni temperatura la relazione tra questa e la quantità di calore occorrente a produrla — semprechè, s'intende, si mantenga costante il volume —.

Cristallizzazioni istantanee. L'esper. di Peligot.

In una provetta a piede preventiv. riscald. si versa una soluz. — fatta a caldo — di 150 p. in peso di iposolfito di sodio in 15 di aequa. Sopra essa se ne fa gallegg. un'altra di 100 gr. di acetato di sodio in 15 di acqua. Uno straterello di olio, o di acqua calda, si pone da ultimo su la seconda. Quando i liquidi — che dev. ess. lasc. in gr. quiete — sono raffreddati, si introd. un cristallino di iposolf. nella soluz. inf.; esso passa senza prod. alcun intorbid. attraverso all'acetato, ma determ. istant. la formaz. di crist. elegantiss. in tutta la massa dell'iposolfito: un cristallino di acetato, invece, prod. il med. eff. in quella del medesimo sale. L'esp. acquista una eleganza meravigliosa quando venga fatta per proiez., nel qual caso occorre valersi di una vaschetta di vetro a pareti piane parallele.

Su la fusione si ritiene dimostrato dall'esperienza che tutti i corpi possono subirla purchè — disposte opportunatamente le cose — si elevi bastantemente la loro temperatura; ed è noto che la scienza sa oggi produrre delle temperature elevatissime: nell'arco voltaico — a corrente diretta — che illumina le nostre vie, il carbone positivo è riscaldato ad una temperatura — 3900° secondo il Rossetti, 3600° secondo il Violle, — superiore a quella di fusione del carbone, poichè — Violle, S. Thompson — è quella stessa della sua ebollizione; e superiore — 4800° secondo il Rossetti — è quella dell'arco propriamente detto, superiore ancora — 6000° secondo gl'inventori — quella ottenibile dall'arco prodotto nella soluzione di carbonato potassico, usato da Lagrange e Hoho nel loro meraviglioso processo di fucinatura elettrica.

Già il Despretz, applicando simultaneamente ad una medesima sostanza le tre sorgenti di calore più intense — la combustione dell'idrogeno nell'ossigeno puro nelle proporzioni volute per formare l'acqua, i raggi solari concentrati al fuoco di una potente lente a gradinate, e l'arco voltaico di una pila di Bunsen di 200 elementi — era arrivato a rammollire una verghetta di carbone;

Sainte-Claire Dewille e Debray, col loro cannello a ossidrogeno o a gas illuminante ed ossigeno, erano arrivati a rendere industriale la fusione del platino — per la fabbricazione dei campioni del metro si è giunti a fondere 300 chilogrammi di platino iridiato —. « À peine peut-on citer quelques rares substances, comme la chaux et le zircone, qui aient resisté à peu près complètement à ces températures extrêmes » scrivevano nel 1891 Chappuis e Berget, e non erano ancora nè perfezionato il forno elettrico, nè conosciuta la invenzione di Lagrange e Hoho.

« Stato sferoidale ». — L' esp. del Poggendorff per dimostrare che non v'è contatto tra la capsula arroventata e la goccia di liquido posta in essa.

Legg. espl — La corrente di una pila *A* a cui è collegato un galvanometro, e di cui un reoforo comunica con la goccia d'acqua o di altro liquido condutt., e l'altro — attr. v. al galvanom. — con la capsula metall. arrov. non passa fin che si mantiene l'arrov.; passa invece quando si lasci raffredd. la capsula, e la goccia liq. possa toccarla.

Sempre su la fusione, è pure certo che — a parità di tutte le condizioni — ogni sostanza ha una temperatura fissa di fusione; che, se la pressione non muta, la temperatura della massa rimane invariata fino a che la fusione non sia completa; e che ogni sostanza richiede, unicamente per passare dallo stato solido al liquido, una quantità determinata di calore — *calorie di fusione*, se riferite all'unità di massa —.

Generalmente la fusione è accompagnata da aumento di volume. Alcune sostanze però si comportano oppostamente, contraendosi nel fondere e dilatandosi nel solidificarsi: così — fatto importante nella economia della natura — il ghiaccio galleggia su l'acqua, e — fatto importante per l'industria — la ghisa, colata nello stampo, è costretta, nel solidificarsi, ad occuparlo tutto e modellarvisi perfettamente. Coteste variazioni — in un senso o nell'altro — vennero studiate — Brunner, Hagenbach, Wiedemann, Dufour, Kopp, Bunsen, Heinrich, Ermann, Leduc — e riconosciute non, come si riteneva, violente ed operantisi completamente nell'atto della mutazione di stato, ma effetto di anomalie che avvengono, nella dilatazione, in vicinanza al punto di fusione. E così pure vennero studiate — Mousson, J. e W. Thomson, Hopkins, Battelli, Amagat, Barus — le influenze della pressione su la temperatura di fusione, e — Thomsen, Favre, Heritsch, Braun, Von Stackelberg, Gouy, Larsen, Gernez, Tollinger, Hammerle, Berthelot, Grandeau — studiati i fatti — tra cui quelli complessi dell'assorbimento di calore dovuto al liquefarsi del solido, e dello svolgimento di calore prodotto da eventuali azioni chimiche — che accompagnano il disciogliersi dei solidi nei liquidi.

Dentellature di una goccia d'acqua allo stato sferoidale.

Importanti i risultati conseguiti nella composizione e negli effetti delle miscele frigorifere: nell'ordine degli studi su proprietà particolari collegantisi con la fusione, interessanti quelli — Tyndall, Andrews, Bianconi, Connell — su la *plasticità* — apparente — del ghiaccio, e quelli — J. Thomson-Bottomley, Le Chatelier — sul fatto del *regelo*, osservato primamente dal Faraday nel 1850 ed invocato, come la plasticità, a spiegare il modo di essere dei ghiacciai.

Intorno alla solidificazione — intimamente connessa con la fusione — si venne stabilendo che, a parità di pressione, un liquido si solidifica ad una temperatura fissa che è la medesima a cui la sostanza fonderebbe ove fosse solida; che, se la pressione rimane costante durante la fusione, costante rimane pure la temperatura della massa; che nel solidificarsi la massa emette una quantità di calore — *calorie di solidificazione*, se riferita all'unità di massa — uguale a quella che occorrerebbe per provocarne la mutazione inversa di stato fisico; che la solidificazione è accompagnata pure da una variazione di volume eguale ed opposta a quella che si produrrebbe nella fusione.

Studiati anche gli eleganti fenomeni del solidificarsi dei corpi quando, essendo essi allo stato di soluzione, vengono a diminuire o la temperatura o — per svaporazione — la quantità del solvente, e l'eccesso del solido si deposita sotto forma di *cristalli*, offrendo un mezzo di cui traggono partito le industrie chimiche per preparare sostanze in istato di grande purezza. E studiati pure ampiamente i fenomeni della *surfusione* e della *soprassaturazione*, consistenti nel rimanere — per grande quiete, o per forte pressione quando si tratti di sostanze che nel solidificarsi si dilatano, o per privazione di contatto sia con l'aria atmosferica sia con corpi estranei — liquide certe sostanze a temperatura inferiore a quella a cui dovrebbero o solidificarsi o depositarsi cristallizzate. Così il Despretz potè mantenere liquida l'acqua fino a -20° ponendola in tubi capillari nei quali veniva ad essere ostacolato il movimento delle particelle necessario al loro mutuo aderire; allo stesso risultato arrivava il Dufour col sottrarre delle gocce d'acqua dal contatto con l'aria — mettendole in miscele di cloroformio o di petrolio con olio di mandorle dolci, in modo da avere un liquido non miscibile con l'acqua e in cui questa potesse rimanere in sospensione per l'uguaglianza della densità specifica —; il Gernez ripeteva con lo zolfo fuso — valendosi, come liquido per il bagno, di una soluzione concentrata di cloruro di zinco — mantenendolo liquido a + 5°, le esperienze del Dufour; e fondendo il fosforo sott'acqua mostrava come si potesse mantenere liquido a + 10°, mentre le temperature di solidificazione dello zolfo e del fosforo sono rispettivameute di + 111° e + 44°. Ricorderemo ancora come dalle esperienze del Mousson risulti la possibilità di mantenere liquida l'acqua al di sotto di - 18° unicamente con l'esercitare su di essa una pressione che le impedisca la dilatazione accompagnante la congelazione; pressione elevantesi nelle esperienze del Mousson a 13000 atmosfere, numero che vale a rendere ragione della imponenza degli effetti del gelo non solo nei vasi delicati dei vegetali, ma nelle stesse rocce più salde.

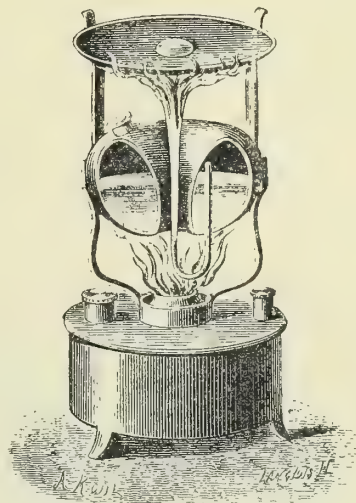
E su la soprassaturazione non possiamo esimerci dal ricordare le belle esperienze del Loevel, del Peligot, del Violette, del Gernez e di altri, con le quali

si provoca la cristallizzazione istantanea di una soluzione soprassatura di solfato di sodio — chiusa in un tubo terminante in collo affilato e da cui per ebollizione sia stata tolta l'aria prima di suggellare il tubo fondendo alla lampada il vetro — non appena, con lo spezzare la punta, si permette all'aria di entrare nel tubo; ovvero si provocano le cristallizzazioni pure istantanee dell'acetato e dell'iposolfito di sodio con l'introduzione nelle rispettive soluzioni soprassature — tolte, mediante uno straterello d'acqua pura o di olio d'ulive, al contatto dell'aria — un cristallino del rispettivo sale o di un sale avente la stessa forma cristallina; esperienze, coteste, che dovevano menzionarsi vogliasi perchè sono tra le più eleganti della fisica moderna — massime quando si dispongano in modo da osservarle per proiezione — vogliasi perchè mostrano bene quali sono le condizioni in cui operano le forze molecolari e l'ordine meraviglioso cui obbediscono le particelle pur quando coteste forze agiscono con rapidità che si può ben dire fulminea.

L'*eolipila* di Breuzin per le esp. su lo stato sferoidale.
La fiamma viene alim. mediante un forte getto di vapore di alcole riscaldato da altra fiamma.

Fatto che si collega con quello dell'abbassarsi della temperatura di solidificazione quando intervenga la pressione e si tratti di corpo che nel solidificarsi presenta aumento di volume, è l' altro curioso e significantissimo, messo in luce dalla esperienza dell'Amagat, e che consiste nella solidificazione a temperatura superiore alla normale, quando si tratti di sostanza che debba invece contrarsi. L'eminente fisico, sottoponendo all'esperienza quanto sta scritto in una formula del Clapeyron, è riuscito a solidificare a $+22°$ — sotto la pressione di 700 atmosfere — la benzina che, in condizioni normali, non si solidifica se non al di sotto dello zero, e — il che è ancora più notevole — a ridurre solido a temperatura variabile tra $-19°,5$ e $+19°,5$ — valendosi di pressioni comprese tra 200 e 1160 atmosfere — una sostanza — il bicloruro di carbonio — che era sconosciuta allo stato solido.

Mutazioni di stato fisico non meno importanti e non meno studiate sono i passaggi allo stato aeriforme dal solido direttamente e dal liquido, nonchè i fenomeni inversi. Della loro importanza dicono chiaramente la parte che hanno nelle vicende fisiche del globo, e le applicazioni industriali che trovano nella macchina a vapore, nella distillazione, nell'essiccamento, nel riscaldamento, nella refrigerazione: dello studio fatto è dimostrazione evidente la estensione medesima di coteste applicazioni, estensione che non sarebbe stata possibile senza la conoscenza esatta dei fatti che vi si connettono.

Particolarmente saranno a ricordarsi le leggi stabilite su la svaporazione e su l'ebollizione. Dalton — dopo il Volta — aveva osservato — e Gay-Lussac, Regnault confermavano — essere sempre la stessa la forza elastica massima di un vapore ad una data temperatura ed essere uguale alla somma delle forze elastiche dei componenti quella di una miscela di aeriformi — siano essi gas o vapori —.

Herwig dimostrava che i vapori purchè lontani dal loro punto di liquefazione sono soggetti alla legge del Boyle su la comprimibilità dei gas e seguono le stesse leggi di questi nelle variazioni prodotte da mutazione di temperatura. Egli metteva così in certo modo le basi ad un fatto importantissimo dal punto di vista delle teorie su la costituzione della materia, la identità di natura dei gas e dei vapori; fatto che doveva essere poi nettamente stabilito — anche nei particolari — da altri studi, specialmente dell'Andrews, di cui si dovrà dire tra non molto.

Circa la produzione del vapore nell'interno di una massa liquida ed il fenomeno della ebollizione, si andarono confermando le leggi note — come si disse a suo luogo — prima del secolo XIX; e cioè l'essere fissa la tempetura di ebollizione di un liquido a parità di condizioni — segnatamente a parità di pressione esterna —; l'elevarsi di cotesta temperatura con l'elevarsi della pressione a cui il liquido è soggetto, l'abbassarsi col diminuire di questa; il rimanere costante della temperatura di ebollizione dal momento in cui questa è cominciata fino a che essa non venga a cessare.

Determinate inoltre — elemento importante per la scienza e per la economia — le *calorie di vaporizzazione*, la quantità cioè di calore occorrente a far passare dallo stato liquido all'aeriforme l'unità di massa del liquido.

Meglio precisato — Gay-Lussac, Gernez — il fatto già asserito dal De Luc che l'acqua può rimanere liquida a temperatura di molto superiore a quella ordinaria della ebollizione quando sia privata d'aria, o non tenga comecchessia disciolti dei gas; e dal fatto della necessità della presenza di bolle di gas nell'acqua perchè la ebollizione avvenga in modo normale, dedotte norme importanti per prevenire accidenti nei generatori di vapore quando l'acqua in essi, per antecedente ebollizone, sia stata privata dell'aria.

Esaminata anche — Bellani, Davenport, Boutigny, Arago, Wartmann, Belli, Poggendorff, Luvini, Heschus, Stark — quella forma curiosa di svaporazione lenta dei liquidi nei corpi arroventati, la quale già nel secolo XVIII avevano osservato l'Eller e il Leidenfrost, a cui il Boutigny nella sua celebre memoria *« Sur les Phén. que présentent les corps projetès sur des surfaces chaudes »* in *Ann.* de *Ch. et de Phys.* a 1843, T. IX, p. 350 a 370, e T. XI p. 16 — aveva dato nome di *stato sferoidale*, e che — dall'attrattiva offerta da stranezze quali il formarsi del ghiaccio in un crogiuolo rovente o l'immergere impunemente la mano nel piombo, nel bronzo, nell'argento fusi — assurse a fatto di grande importanza pratica il giorno in cui si potè ritenere colcollegarsi con essa, in gran numero di casi, la esplosione delle caldaie a vapore.

Meritevoli di nota speciale gli studi su la tensione massima del vapore d'acqua alle diverse temperature e su la calorità specifica dei vapori — Regnault, Roche, Moritz, Broch, Berthelot — dai quali vennero la possibilità di alta precisione nella graduazione del termometro, la possibilità di determinare l'altezza sul livello del mare mediante la temperatura di ebollizione dell'acqua, e — sopra tutto — cognizioni indispensabili alla calcolazione e buon funzionamento delle macchine a vapore.

Nè meno importanti — basti accennare che la chimica può dedurre

composizione e peso di molecole, la termodinamica dati positivi per un grande numero delle sue equazioni — gli studi su la densità di gaz e vapori, per i quali sono cospicui i lavori del Gay-Lussac — il cui metodo ebbe ogni perfezionamento necessario dall'Hoffmann — del Dumas, di C. e V. Meyer, del Crafts, del Deville e Troost, del Fairbairn Tait, dell'Edelmann, e — per ricordare alcuni tra i più recenti — del Berman e Atkinson, del Rayleigh, dello Schloesing.

Altro ordine di studi assai ampio e cospicuo è quello relativo alla liquefazione dei gas; studi sui quali — poichè costituiscono una branca di scienza nata e svoltasi nel secolo XIX ed hanno aperto alla scienza ed all'industria nuovi orizzonti — sarà il caso di un cenno meno sommario.

IV.

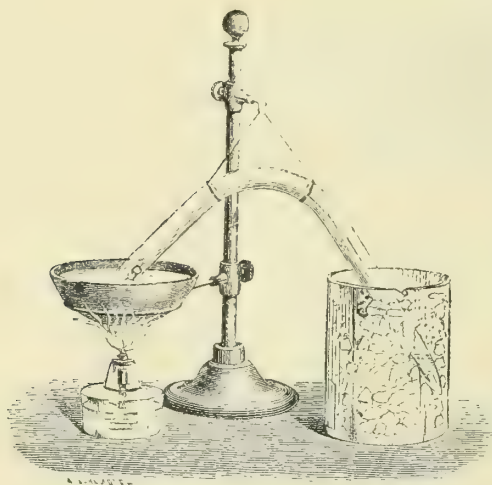
La liquefazione dei gaz.

Come poco si fosse operato prima del secolo XIX, fu detto giá — pag. 171 —. Bisogna venire al 1823 per ritrovare un fatto nuovo. Lo fornisce il Faraday con la liquefazione del cloro (1) comunicata alla *Royal Society* con una memoria — « *On fluid chlorine* » in *Phil. Transact.* a. 1823, parte II, pag. 160 a 164 — letta il 13 marzo di quell'anno.

Il modo con cui si era liquefatto il cloro aveva suggerito al Davy l' idea — esposta nella breve « *Note on the condensation of Muriatic acid Gas into the liquid form* » aggiunta alla Memoria del suo assistente Faraday e pubblicata in appendice a questa, *l. c.* p. 164-165 — che altri gas potessero liquefarsi allo stesso modo per auto-compressione, col chiudere cioè, entro un ramo di un robusto tubo, a V rovesciato, suggellato, le sostanze atte a svilupparli, ponendo l'altro ramo entro un refrigerante. Ed infatti bentosto il Faraday liquefaceva il protossido di azoto, l' idrogeno solforato, l'anidride carbonica, il cianogeno, e in breve la serie dei gas liquefacibili diventava numerosa. Il Thilorier immaginava anzi — verso il 1835 — quell'apparecchio che è descritto su tutti i Trattati di fisica e che può considerarsi come un grosso tubo di Faraday a pareti metalliche; e pressapoco alla stessa epoca il Natterer e il Bianchi costruivano delle pompe aspiranti e prementi specialmente destinate alla compressione dei gas per produrne la liquefazione.

Michele Faraday.
Riprod. del ritratto del Pickersgill della *R. A.* di Londra. Dall'incis. del Cochran esist. presso la *Soc. d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri* in Milano.

(1) Si deve al caso, come si rileva dalla vita di H. Davy, di J. Ayrton Paris. « Ero stato invitato a pranzo » scrive egli « con sir H. Davy il mercoledì 5 marzo 1823, e mi diressi alla *Royal Institution*. Disceso nel laboratorio, trovai M Faraday occupato in esperimenti sul cloro e il suo idrato in tubi chiusi. Vidi che il tubo nel quale operava su questa sostanza conteneva della materia oleosa, e mi misi a burlarlo per la tra-

Nel 1845 il Faraday faceva fare un grande passo avanti alla liquefazione dei gas cercando di far concorrere ad essa delle forti pressioni — ottenute con l'accoppiamento di due compressori, uno dei quali riceveva il gas già compresso anche fino a 20 atmosfere — ed insieme dei raffreddamenti notevoli, quale quello, ad esempio, di -110° ottenuto col fare svaporare nel vuoto una miscela di anidride carbonica solida e di etere: egli riusciva così a liquefare ed a solidificare un'altra serie numerosa di aeriformi. Restavano però ancora sei gas ribelli ad ogni tentativo: il gas illuminante, l'ossido di carbonio, il biossido di azoto, l'azoto, l'ossigeno, l'idrogeno.

Liquef. dei gaz col « tubo del Faraday ».

Legg. espl — In un ramo di tubo di vetro a V rovesciato ed a pareti robustissime si introd. le sost. atte a gen. il gaz da liquef., in quantità tale che, sec. la legge di compr. degli aerif., il gaz stesso abbia a trovarsi compresso sotto pressione opport. elev.

Il tubo è chiuso alla lampada ad ambe le estr., e mentre il calore ad un estr. favorisce lo svolg. del gaz, una misc. frigorifera circondante l'altro estr. ne facilita la liquef. Si è in questo ramo del tubo che si forma il liquido, ove, s'intende, il gaz sia liquefacibile con cotesto sistema.

E malgrado i tentativi dell'Aimé e del Berthelot — il primo aveva fatto discendere i tubi in mare, esercitando col mercurio delle pressioni raggiungenti le 220 atmosfere; il secondo, valendosi della dilatazione del mercurio operata dal calore, era arrivato a sottoporre l'ossigeno a 800 atmosfere — i gaz nominati sarebbero ancora classificati come *permanenti*, se non fossero intervenuti gli studi dell'Andrews, il quale era condotto a stabilire con l'esperienza — il Faraday, discutendo vecchie osservazioni del Cagniard de La Tour, lo aveva intuito — come per ogni gas esista una temperatura — *temperatura critica* — al disopra della quale è impossibile che esso non conservi lo stato gassoso, qualunque sia la pressione a cui venga sottoposto.

In base a cotesto contributo capitale appariva la strada per giungere alla liquefazione dei gas permanenti, e per alcuni vi arrivavano contemporaneamente nel 1877, con metodi diversi ed all'insaputa l'uno dell'altro, il ginevrino Raoul Pictet e il parigino Cailletet.

Il primo sviluppava il gas in un robusto obice — resistente fino a 500 atmosfere — e lo sottoponeva a raffreddamento energico col farlo passare entro un tubo avvolto da un liquido — anidride carbonica — proveniente esso stesso da condensazione di gas: dell'anidride solforosa liquida, svapo-

scuratezza dell'usare dei recipienti non puliti. Faraday, ispezionato il tubo, riconobbe che la mia osservazione era giusta, ed espresse sorpresa per questa circostanza: il perchè, si mise tosto a pulire l'estremità sporca, quando, con grande nostra sorpresa, ad un tratto il contenuto esplose e la materia oleosa scomparve

M. Faraday fu nella assoluta impossibilità di spiegare l'accidente, e si pose a ripetere l'esperienza per trovarne la spiegazione. Io non potei restare di più e vedere il risultato.

Avendo raccontato, dopo pranzo, la cosa a sir H. Davy, egli si mostrò molto sorpreso; e, dopo qualche minuto di apparente astrazione, disse: domani investigherò intorno a cotesto esperimento.

Il mattino seguente di buon'ora ricevevo da M. Faraday il seguente laconico biglietto:

« Caro Signore: L'*olio* della cui sparizione avete avuto ieri notizia è cloro liquido. Vostro devotissimo (6 Marzo 1823) Michele Faraday ».

rando rapidamente, raffreddava a -65° dell'anidride carbonica; questa, raffreddata dall'anidride solforosa e liquefatta, svaporando a sua volta rapidamente riduceva il gas alla temperatura di -140°. A liquefare e far evaporare l'anidride solforosa e l'anidride carbonica servivano delle pompe di compressione e di aspirazione disposte in modo che la stessa quantità di gas servisse in modo continuo, circolando entro gli apparecchi opportunamente disposti.

Il Cailletet, invece, comprimeva il gas entro uno stretto tubo, e permettendogli di espandersi con una grande rapidità, utilizzava per liquefarlo l'enorme raffreddamento che accompagnava cotesta brusca e forte espansione.

Quelle prime esperienze del 1877 furono il punto di partenza di altri grandi perfezionamenti.

Il Cailletet, facendo bollire rapidamente il cloruro di metile col favorirne la svaporazione, aveva facilmente un liquido a -70°; raffreddando dell'idrogeno secco con cotesto liquido, e facendolo gorgogliare entro l'etilene liquefatto, aveva — pure facilmente — una temperatura di -123°.

1

2

Gli apparecchi di Tommaso Andrews.

Riprod. delle fig. 3 e 6. Tav. LXIII, vol 159, a. 1869, *Philosophical Trans. of the R. S. of. London*, e accompagn. la monogr. orig. dell' Andrews « *On the Continuity of the Gaseous and Liquid States of Matter* » conten. nello stesso vol. p. 575 a 590

Legg. espl. — Fig. 1. Sezione dell'appareechio per compr. un gaz: questo stava entro un sottiliss. tubo centrale, la cui capacità media era di cc. 0,00002477 e di cc. 0,00003376 per mm. di lunghezza secondo che il tubo veniva riemp. di aria, o di anidride carbonica.

Fig. 2. — Ved. prosp. dell'app. disposto per confronti tra due gaz.

La fisica era omai in possesso di un nuovo grande mezzo di operazione e di indagine: essa aveva la possibilità di produrre temperature molto basse, notevolmente più basse di quelle che erano concesse in antecedenza; e — ciò che più monta — coteste temperature si potevano avere in condizioni da permetterne un uso ben più comodo e largo.

Primo frutto ne fu la liquefazione dell'ozono, operata da Hautefeuille e Chappuis — al Laboratorio di Chimica dell'*École Normale* di Parigi — valendosi dell'apparecchio di Cailletet, e appunto dell'etilene liquido; e fu seguito ben presto dai brillanti risultati ottenuti dal Wroblewski a Cracovia.

Questi, liberato dalla deportazione in Siberia alla quale era stato condannato per la parte avuta nell'insurrezione polacca del 1863-64, era capitato a Parigi, ed, assistendo con assiduità ed interesse agli esperimenti con gli apparecchi del Cailletet, aveva concepito due idee molto geniali.

Anzitutto quella di operare sul gaz compresso, non la espansione completa fino alla pressione atmosferica, ma solo una espansione parziale: per tal modo il gaz si trovava, dopo di essa, ancora sotto una pressione forte, e così ne era facilitata la liquefazione. Di più egli era tornato, in certo senso e per dirla con lui, al tubo di Faraday; e, invece che avviluppare tutto il recipiente col liquido refrigerante — il che richiedeva masse enormi di etilene liquido e forse non dava una distribuzione uniforme — faceva pescare il tubo in cui era a prodursi la liquefazione — opportunamente curvato — in una provetta in cui faceva svaporare nel vuoto il liquido refrigerante. Inoltre egli e K. Olszewski avevano anche trovato — *C. R.* de l' *Ac. des Sc.* a. 1883, T. 96 p. 1140 — che col far bollire nel vuoto l'etilene liquido — che l'anno precedente appunto il Cailletet aveva consigliato come refrigerante — si otteneva la temperatura di -136°.

L'apparecchio del Pictet per la liquef. dei gas « permanenti »
Dalla monog. orig « *Expériences sur la liquéf. de l'oxygène* » in *Comptes Rendus de l'Ac. des Sc.* a. 1877, T. LXXXV p. 1214 a 1216.
Legg. espl. — *A,B* coppia di pompe asp e prem. destin. a liquef. e fare svapor. dell'anidride solforosa, al fine di otten. che il recip. anulare *C* sia manten. a temp. bassa (65° sotto 0°). — *E,F* sist. simile con cui si ottiene che dell'anidride carbonica, raffredd. a -65° entro *K* si comprima, si liquefi e svapori, mantenendo così in *H* intorno ad *M* una temp. di 140° sotto 0°. — *L* storta in ferro fucinato atta a resist a press. di 500 atm., comunic. con *M*, tubo in vetro molto spesso, della lungh. di 1 m. In *L* si genera chimicam. il gaz da liquef — Per l'ossigeno « après un fonctionnement de plusieurs heures des quatres pompes, actionnées par une machine à vapeur de 15 chevaux, quand tout l'oxygène a été dégagé, sa pression dans le tube de verre est de 320 atm. et la temp. de 140 degrés au-dessous de zéro. En découvrant subitement l'orifice *P*, l'oxygéne s'échappe avec violence en produisant une détente et une absorption de calories assez considérables pour que une partie liquéfiée apparaisse dans le tube de verre et jaillisse par l'orifice en inclinant l'appareil .... La quantité d'oxygène liquéfié contenue dans le tube de 1 m de longuer et de 0m,01 de diamétre intérieur, en occupait un peu plus du tiers en longueur et sortait sous forme de jet liquide par l'orifice *P* ». (Monografia sopraccitata, p. 1216).

Non crediamo che la cronaca dei progressi, che i due fisici polacchi — insieme dapprima, solo il Wroblewski dippoi — realizzarono in breve tempo, si possa fare meglio che riportando i telegrammi inviati successivamente dal Wroblewski al Debray, e da questi, man mano, comunicati all'*Académie des Sciences* di Parigi.

Il primo ha la data del 9 aprile 1883: « *Oxygène liquefié, complètement liquide, incolore comme l'acide carbonique* (1) ». E ad esso seguiva una nota da cui risulta che cotesta liquefazione completa era stata ottenuta a -131,°6 ed alla pressione di 26,5 atm.; a -133,°4 con quella di 24,8 atm.; a -135,°8 con la pressione di 22,5 atm. Il Wroblewski e l'Olszewski erano poi riusciti a far gelare verso -116° il solfuro di carbonio, e — primi — avevano potuto vedere l' alcole solido: esso diventa « viscoso come olio verso -129°, e solidificandosi verso -130,°5 diviene un corpo opaco ».

Il secondo veniva spedito il 16 aprile immediatamente successivo: « *Azote refroidi, liquefié par détente. Ménisque* (2) *visible, liquide incolore* » (3). Anche

(1) *Comptes Rendus de l'Ac. d Sc.*, sed. 16 aprile 1883. T 96 p. 1140.
(2) *C. R.* T 96, pag. 1225, a 1883.
(3) Si riferisce alla superficie terminante superiormente la parte liquida, menisco analogo a quello che

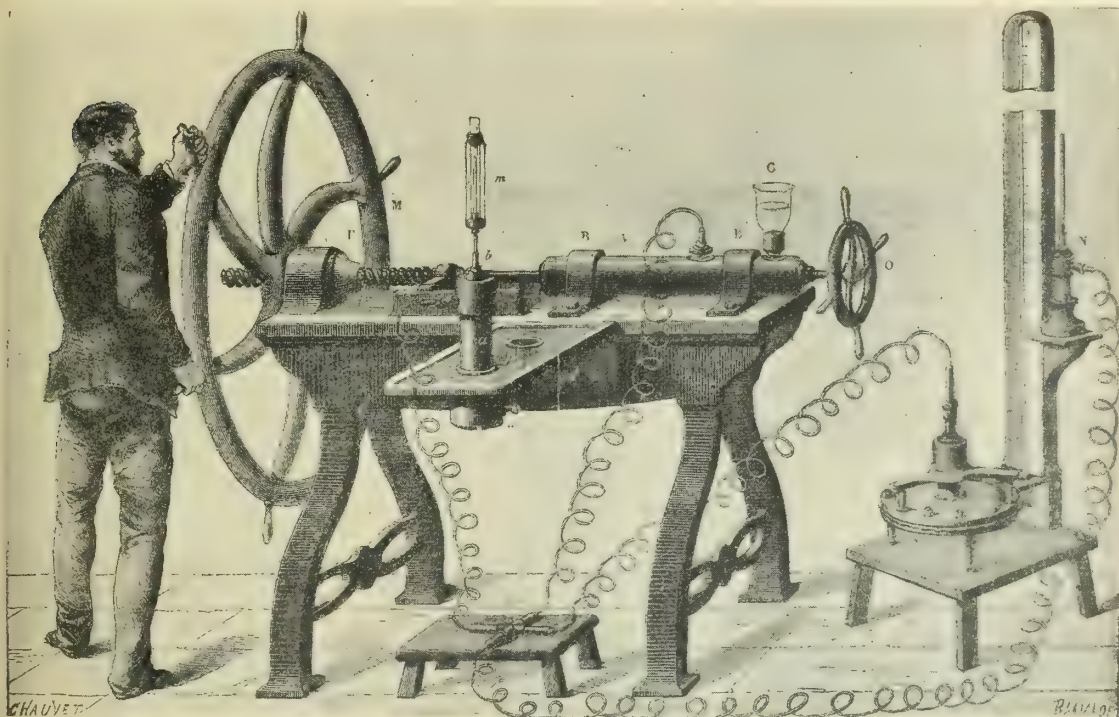



Fig. 1.

Apparecchi del Caillettet per la liquefaz. dei gas « permanenti ».

1. App. quale venne usato nelle prime esp. [Ripr. della fig. a pag. 135-136 T. XV a. 1878, d gli *Ann. de Ch et de Phys*], monog. orig. del Cailetet *" Recherches su la liquéfaction des gaz "*.

2. App. da laboratorio: modello costr. dalla Casa Ducretet.

Legg. espl. della fig. I. — *A*, compressore ad acqua in acciaio dolce: la comp. si fa med. la vite mossa col volante *M*; *C* recip. per introd. l'acqua nel compress. *O* volantino per manov. la vite conica di chius. della comunic. con *C*.; *a* recip. in acc. resist. a press. sup; alle 1000 atm.: esso cont. un serbat. cilindr. di vetro rip di merc., aperto alla punta a cui term. all'estr. inf., e com., superiormente col tubo — di vetro capillare, rettilineo, vertic. — contenente il gaz da comprim. La comun tra il compressore *A* e il ricevitore *a* è stab. med. tubi metall. flessib. — Il tubo rett. conten. il gaz si vede all'int. della campana *m* di protez, avviluppante un tubo rip. di sost. frigorifere.

Facendo ag. il compress., l'acqua passa in *a*, comprime il merc., che, a sua volta, compr. il gaz. Manovrando poi rapid. in senso inv. il volante *M*, si può prod. una dilataz. rapida e forte nel gaz, e quindi un abbass. notev. nella temp.

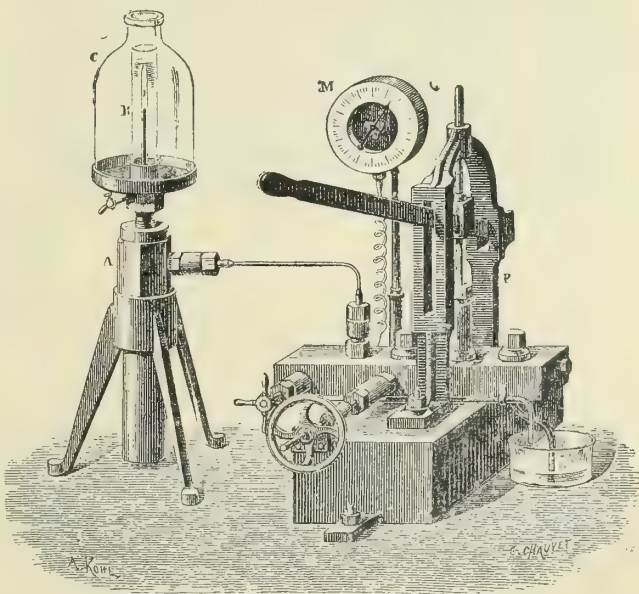



Fig 2.

a questo dispaccio faceva seguito una nota dei due fisici « *Sur la liquéfaction de l'azote* » che il Debray comunicava nella seduta del 23 aprile, da cui risulta che a -136° l'azoto non si era potuto liquefare, sebbene fosse sotto la pressione di 150 atmosfere: lasciandolo espandere invece, si era potuto ottenerlo liquido « per alcuni secondi ».

termina l'acqua od altro liquido in un tubo capillare. Al lettore non isfugge di certo la ragione per cui il Wroblewski segnala la produzione di un *menisco visibile*. Esso rappresentava la prova che il contenuto del tubo — che avrebbe potuto essere condensato a pressione ben maggiore di quella occorrente alla liquefazione, pur conservandosi aeriforme ove la temperatura fosse stata superiore a quella *critica* — era realmente liquefatto.

Un terzo seguiva tosto, il 21 aprile: « *Oxyde de carbone liquéfié dans les mêmes conditions que l'azote. Ménisque visible. Liquide incolore* ».

Tre telegrammi cotesti, che annunciavano tre vittorie, tre grandi vittorie, conseguite in meno che due settimane.

Dopo di essi e le Note accennate, il Wroblewski — solo — comunicava tre altre Note, che sono inserite nel T. 97 dei *C. R.*, rispettivamente a pagina 166 — « *Sur la densité de l'oxygène liquide* » — a pag. 309 — « *Sur la température critique et la pression critique de l'Oxygène* » — e finalmente a pagina 1554 — « *Sur la temp. qu' on obtient à l'aide de l'oxygène bouillant et sur la solidification de l'azote* ».

Quest'ultima è particolarmente interessante perchè il Wroblewski vi espone le difficoltà dell'operare. Egli, malgrado queste, era giunto, non solo ad avere l' ossigeno liquido, ma anche a poterlo adoperare meglio di quello che il Cailletet non avesse potuto fare con il gaz illuminante: e così era arrivato a produrre la temperatura di -186°, alla quale aveva esposto l'azoto. « *Ce gaz* » dice il grande fisico polacco « *comprimé, refroidi dans l' oxygène bouillant et soumis à une faible détente, se solidifie et tombe comme de la neige en cristaux d'une dimension remarquable* ». Erano dunque passi giganteschi quelli che in poche settimane avevano fatto la liquefazione e la solidificazione dei gaz: quei gaz ribelli, che il Cailletet e il Pictet non avevano potuto vedere condensati se non sotto forma di nebbia fugace, erano divenuti nelle mani del Wroblewski un docile liquido *stabile*.

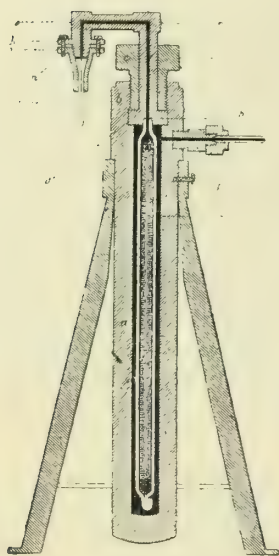



Fig. 1.

Apparecchio di S. Wroblewski per la liquefaz. dei gas perm.

Riprod. delle Fig. 1 e 2 della Tav 1, *Ann. der Phsyk und Chemie*, Tomo XX, a. 1883. mem. origin. di Sigmund Wroblewski e Karl Olszewski " *Ueber die Verflüssigung des Sauerstoffs, Stickstoffs, und Kohlenoxyds* ".

Legg. espl. — Fig. 1 Recip. in acc e bronzo conten. il serbat. cilindrico — diam. int. cm. 1,5. alt. cm. 55 circa — dest. a ricev. il gaz da compr., e term. in un tubo sottile a squadra.

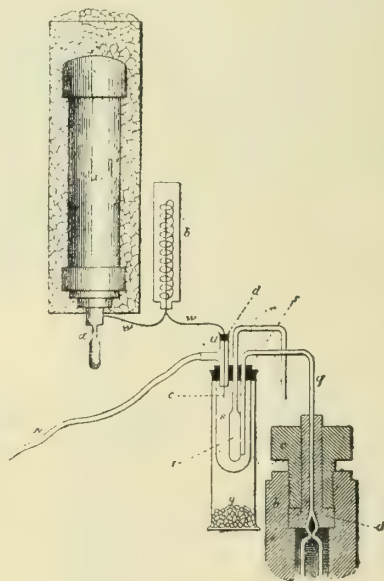



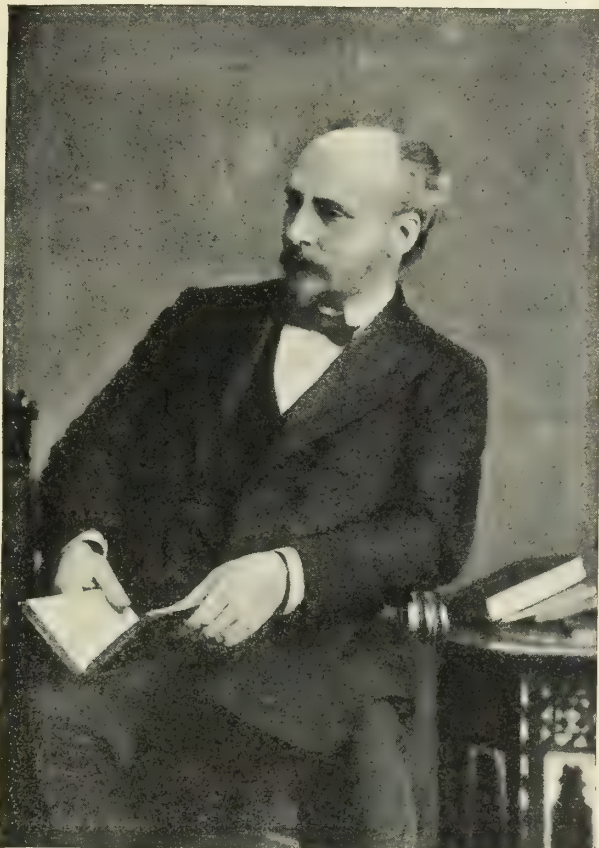
Fig 2.

La fig. 2. — L'insieme dell'app. disposto per l'esperienza: *q* tubo a squadra dell'app. 1. Esso termina in una prov. *s* in cui sgocciola da *w* del gaz illum. raffreddato in *x* med. misc. di ghiaccio e sale, e nel serpentino, circond. dalla camera *b*, med. anidride carbonica solida; *t* term. a idrog.

Restava però un gran ponte a varcare: quello che conduceva alla liquefazione dell'idrogeno, non raggiunta dal Pictet, e — bisogna dirlo — conseguita in modo affatto embrionale dal Cailletet: ma nella seduta del 21 gennaio 1884 dell'*Ac. d. Sc.* — *C. R.* T. 98, pag. 149 — il Debray comunicava in proposito un telegramma — molto significativo — del Wroblewski, che riporteremo per completare la serie di quei documenti, tanto importanti, della storia di una tra le vittorie più difficili e di maggiore momento riportate dalla scienza.

Quel dispaccio diceva: « *Hydrogène refroidi par oxygène bouillant s'est liquéfie par détente* » (1). Così, se anche l' ultimo ponte non era varcato trionfalmente, erano però fatti, per dirla col Dewar — « *Note on the Liquefaction of Hydrogen and Helium* » in *Journal of the Chemical Society*, T. LXXIII, *Transactions*, a. 1898, pag. 528 — « *the first conclusive experiments* », le prime prove concludenti.

Tuttavia, malgrado il valore altissimo di cotesti esperimenti, il Wroblewski non aveva ottenuto l'idrogeno nelle condizioni di *liquido stabile*, nè l'ottenne dippoi, sebbene fino al 1888 — anno in cui fu rapito alla scienza— facesse delle proprietà termiche dell'idrogeno il suo studio pressochè costante.

Nemmeno l'ottenne l'Olszewski. Egli che, pur separandosi dal Wroblewski, non aveva cessato di occuparsi delle proprietà di tutti cotesti gaz — ricorderemo gli studi su l'*argon* pubblicati in *Wied. Beiblätter*, XV, pag. 29 e nella *Revue Gén. des Sc.* del 1895, citati dal Lefévre in « *La Liquéfaction des gaz*, Parigi, Gauthier-Villars, 1899, e l'altro « *O rozszczepieniu sviatta w tlenie ciektym* » (Su la dispersione della luce nell' ossigeno liquido) in *Bulletin International de l'Ac. des Sc. de Cracovie*, luglio 1894 pag. 245; — egli, diciamo, relativamente all'idrogeno — « *O cisnieniu krytycznem wodoru*, nello stesso *Bull. International de l'Ac. d. Sc. de Cracovie*, maggio 1891, pag. 192 — ne aveva determinato in 20 atmosfere la pressione critica; e — « *Bestimmung der kritischen und der Siedentemperatur des Wasserstoffes* » in *Wied. Ann.* T. LVI p. 133, a. 1895 — con metodi sperimentali ingegnosi, aveva dedotto che la temperatura critica di esso era di $-234^{\circ},5$, e quella di

Dewar (Da fotografia).

(1) I particolari dell' esperienza si trovano nella Nota del Wroblewski « *Sur la liquéfaction de l'hydrogène* » presentata dal Debray all'*Ac. d. Sc.* nella seduta del 4 febbr. 1884 e inserita in *C. R.*, T. 98, p. 304. Ne riportiamo testualmente la parte più interessante: « Dans un appareil construit tout spécialement pour cette expérience, je comprime l'hydrogène jusq'à 100 atm., dans un tube en verre, disposé verticalement, d'environ 2.mm de diamétre exté rieuret de 0, mm2 à 0, mm4 de diamètre intérieur. L'appareil permet à l'aide d' une vis de faire échapper instantanément dans l'air le gaz comprimé, c'est-à-dire de produire une détente qui est beaucoup plus brusque que celle qu'ont peut obtenir à l'aide de l'appareil de M. Cailletet. Ayant entouré le tube d'oxygène liquide et l'ayant refroidi par une série d'ébullitions de ce gaz, j'ai vu, au moment de la détente de l'hydrogène, se produire dans le tube une ébullition tout à fait analogue à celle qui a été observée par M. Cailletet sur l'oxygène dans ses expériences de l'année 1882.

Le phénomène se produit de la même manière à une certaine distance du fond du tube. Il persiste seulement beaucoup moins de temps, il est moins prononcé et il est beacoup plus difficile à apercevoir ».

ebollizione -243°,5 — valori sensibilmente concordanti con quelli di -232° e -244° — che un altro scienziato polacco — Ladislao Natanson — aveva trovato per via puramente teorica, offrendo un esempio veramente notevole del sussidio che la teorica — basata sanamente su la esperienza — può portare nel progresso delle stesse scienze di osservazione.

Fu Giacomo Dewar il primo che ottenesse « un getto » d'idrogeno liquido. Egli aveva cominciato ad occuparsi di basse temperature fino dal 1874, quando era assistente del Playfair all'Università di Edimburgo, e non aveva mai cessato di occuparsene: ricorderemo, ad esempio, e perchè ha stretta connessione con la liquefazione dei gaz permanenti, la sua Nota molto importante « *On the Liquefaction of the Oxygen and the Critical Volumes of Fluids — Philosoph. Magazine*, serie 5.ª, Vol. XVIII, a. 1884, pag. 210 a 216 — dalla quale risulta che già a quell'epoca nelle sue lezioni alla *Royal Institution* il successore del Faraday proiettava l'esperienza della liquefazione dell'ossigeno: nelle di lui mani, cotesta era divenuta una esperienza di corso! Ricorderemo anche le « *New researches on liquid air* » — *Proc. of the R. Inst.*; riunione serale del 27 marzo 1896 — in cui è il disegno di un apparecchio col quale aveva ottenuto un getto d'idrogeno, liquido in parte, al contatto del quale l'aria liquida diventava rapidamente materia « assolutamente solida ». E varrebbe la pena anche di ricordare la commemorazione del Faraday — 1893 — alla quale, esponendo un bicchiere di aria liquida all'azione dell'apparecchio con cui il Faraday aveva esperimentato l'azione del magnetismo su tutti i corpi, il degno successore di quel gigante della scienza mondiale aveva mostrato al pubblico attonito lo scindersi dell'aria liquida in due altri liquidi, l'ossigeno e l'azoto, unicamente per il loro diverso modo di comportarsi rispetto alle azioni magnetiche.

Fig. D.

Fac-sim. di un autografo del Dewar (Riprod. di autografo posseduto dall'aut).

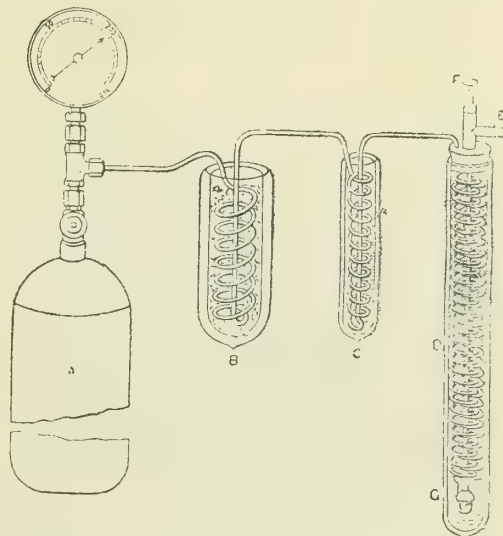
« *Liquid Hydrogen is an agent of research which will enable us to examine into the properties of Matter at the lowest maintained temperature ever reached by man* ». James Dewar.

(L'idrogeno liquido è un mezzo di indagine che ci permetterà l'esame delle proprietà della materia alla più bassa temperatura costante che sia mai stata raggiunta dall'uomo).

È un periodo della « *Centenary Cammemoration Lecture* », in *Proc.* della *R Inst* 1899 -.

La liquefazione completa dell' idrogeno egli la conseguì il 10 maggio del 1898 — « *Preliminary Note on the Liquefaction of Hydrogen and Helium* » in *Proc. of the R. Soc. of London*, Vol. LXIII, pag. 256, a. 1898 — (1). Il gran ponte era passato: le ipotesi del Lavoisier avevano avuto piena conferma.

L'avevano avuta al di là delle previsioni del fondatore della Chimica.

Il padre Secchi, mediante l'analisi spettroscopica, aveva scoperto nel sole una sostanza ignota su la terra: in omaggio al corpo celeste nel quale si era rilevata, era stata chiamata *helium*. Pochi anni prima che il secolo XIX finisse l' helium era trovato nell' atmosfera nostra: a breve distanza — il 13 gennaio 1895 — Lord Rayleigh ed il prof. Ramsay annunciavano alla *Royal Society* come nell'aria fosse un altro elemento, l'*argon*; e nel 1897 e 1898 il Ramsay e il Travers — « *On a new Constituent of Atmospheric Air* », e « *On the Companions of Argon* », entrambe in *Proc. of the R. Soc. of London*, T. LXIII, a. 1898, pag. 405 e 437 rispettivamente — scoprivano, trattando grandi quantità di aria liquida, due altri elementi: il *krypton* e il *nèon*, a cui dovevano ben presto aggiungere il *metargon*. Ebbene, nessuno di questi stessi elementi si è sottratto alla liquefazione sebbene — per dire solo dell'helium — ancora nel 1896 l'Olszewski scrivesse: « Per quanto le mie esperienze possano essere spinte, l'helium resta un gaz permanente, e in apparenza è più difficile a liquefarsi che non l' idrogeno ». Il secolo cominciato con una lista tanto esigua di esperienze di liquefazione di gaz, finiva col trionfo completo su lo stato aeriforme della materia: e proprio presso al declinare di esso, nel secondo semestre del 1899 — *C. R.* T. 129, p. 451 — della sostanza più ribelle, l'idrogeno, il Dewar poteva annunciare all'Accademia di Parigi la solidificazione completa — a circa 257° sotto lo zero —.

L'apparecchio del prof. Dewar per la liquefazione dell'idrogeno.

Dalla monog. orig. del Dewar, in *Journal of the Chem. Soc., Transactions*, a, 1898, Vol. LXXIII pag. 531.
Legg. espl. — *A* uno dei recip. pieni di idrogeno; *B* e *C* recip. a doppia parete e ad intercapedine vuota, contenenti l'uno dell'anidride carbonica sotto press., l'altro dell'aria liquida: *D* serpentino rigen. *G* tubo capillare; *F* valvola.

(1) A quella fanno seguito la « *Note on the Liquefaction of Hydrogen and Helium* — in *Journal of the Chemical Society, Transactions*, Vol. 73, a. 1898, pag. 528, e l'altra « *Sur la liquéfaction de l'hydrogène et de l'hélium* » — in *C. R.* dell'Acc. di Parigi, a 1898, T. 126, p. 1408 a 1412 —. Da quest'ultima riteniamo interessante togliere per esteso la descrizione dell'esperienza: « Il 10 maggio si operò con idrogeno raffreddato a - 205° C. e sotto la pressione di 180 atmosfere. Il gaz sfuggiva continuamente dall'estremo di un tubo a serpentino, posto in un recipiente isolante a vuoto, doppiamente argentato e di costruzione speciale, interamente avviluppato da uno spazio mantenuto al disotto di - 200° C. Il gaz avendo una velocità di 300 a 400 litri circa al minuto, l'idrogeno liquido cominciò a fluire da cotesto vaso isolante in un altro doppiamente isolato da un terzo recipiente a vuoto. In cinque minuti circa, si raccolsero 20 cc. di idrogeno liquido; in quel momento il getto di idrogeno si solidificò.... L'idrogeno allo stato liquido è chiaro ed incolore. Non fornisce alcun spettro di assorbimento, e il menisco è altrettanto bene definito che nel caso dell'aria liquida. Il liquido deve avere un indice di rifrazione ed una dispersione elevatissimi.... Un lungo tubo di vetro chiuso ad un estremo e aperto all'altro, raffreddato al primo estremo per immersione nell'idrogeno liquido, si riempie istantaneamente, al punto raffreddato di aria solida. Un tubetto racchiudente ossigeno liquido, fornisce tosto un solido azzurro ».

« Faraday — scriveva il Dewar (1) — liquefece il cloro nel 1823. Sessanta anni più tardi Wroblewski e Olszewski producevano l'aria liquida, ed ora, dopo un intervallo di quindici anni, i rimanenti gas, l' idrogeno e l'helium, appaiono quali liquidi stabili. Considerando che rispetto alla termodinamica la strada dalla liquefazione dell'aria a quella dell'idrogeno equivale a quella che corre tra la liquefazione del cloro e la liquefazione dell'aria, il fatto che il primo risultato fu raggiunto in un quarto del tempo occorso per il secondo, prova la grande accelerazione dei progressi scientifici al nostro tempo».

E le prove di cotesta grande accelerazione — si può ben aggiungere — si riscontrano in tutti i rami della scienza.

Quanto all'opera del prof. Dewar non possiamo esimerci dal notare che è tra quelle destinate a lasciare la maggiore impronta. « Nessuno può predire le proprietà della materia in vicinanza allo zero della temperatura (2) » cioè a quella temperatura alla quale i corpi sarebbero privi di ogni calore, morta, cioè, la materia. Ed il Dewar, associandosi anche a fisici e chimici degni di tanto compagno, ha continuato in coteste indagini su la proprietà della materia alle bassissime temperature. Così, per recare qualche esempio che ne mostri la intensa produzione scientifica, associandosi al Fleming (3) studiava in un paio di anni il potere termoelettrico dei metalli tra - 100° e - 200°, sottoponendo all' esperienza le idee del Tait; determinava le resistenze elettriche del mercurio e del bismuto alla temperatura dell'aria liquida nonchè le costanti dielettriche del ghiaccio e dell'alcole alle temperature bassissime; e, sottoponendo del bismuto purissimo all'azione di coteste temperature — fino a - 203° — e di campi magnetici potenti, trovava il singolare comportarsi di cotesto elemento « eccezione degna di nota rispetto agli altri metalli », poichè i risultati avuti indicano che « allo zero assoluto il bismuto, per effetto di magnetizzazione trasversale sufficientemente intensa deve convertirsi in un non conduttore ». E — sempre per recare qualche esempio — associandosi al Moissan riusciva (4) a liquefare il

Apparecchi industriali del Pictet. Refrigrande del 1° ciclo per la distillazione dei profumi.

Ripr. della Fig. a pag. 15 della monografia «Pavillon Raoul Pictet» pubbl. in occasione dell'Esposiz. di Ginevra del 1896.

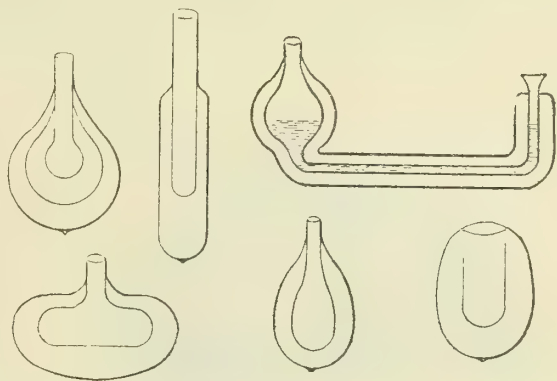
(1) *Proc. of the R. Soc. of London*, Vol. LXIII, p. 257.

(2) Dewar *l. c.*

(3) « *Thermo electric Powers of Metals and Alloys* » in *Phil. Mag.*, 5.ª serie, a. 1895, T. XL p. 95-119. — « *Electrical Resistivity of Pure Mercury at the Temp. of Liq. Air* ». — « *Electr. Resist. of Bismuth at the Temp. of Liq. Air* ». — « *Electr. Resist. of Electrolytic Bismuth at Low Temp. and in Magnetic Fields* ». — « *Dielectr., Constants of Ice and Alchool at very Low Temp.* ». Tutte in *Proc. of the R. Soc.*, le prime in T. LX, a. 1896, p. 76 a 81, 72 a 75, e 425 a 432 rispettivamente, l'ultima in T. LXI, a. 1897, pag. 2 a 18.

(4) « *Sur la liquèfaction du fluor* » Nota di Moissan e Dewar in *C. R. de l'Ac. des Sc.*, T. 124, a. 1897, pag. 1202 a 1205.

fluoro, l'elemento terribile per il suo potere corrosivo, e che a -183^{0}, «*température de l'ébollition tranquille de l'oxygène* », non intacca più il vetro (1).

Notiamo di passaggio che con cotesti studi di fisica molecolare si collega tutta una serie di lavori relativi ai punti critici dei gas; lavori di cui dobbiamo tacere, non senza però avere ricordato lo studio postumo dell'Andrews, trovato dal Tait tra le carte del grande fisico inglese, e pubblicato nelle *Phil. Trans.*, a. 1887, T. 178 p. 45 a 56 (2), e il bel lavoro del Battelli « *Sur l'état de la Matière dans le point critique* » (3) nel quale l'illustre fisico — da esperienze eseguite nel 1891 a Cagliari, e ripetute nel 1893 a Padova con qualche perfezionamento negli apparecchi — trova non fondate alcune ipotesi di Cailletet e Colardeau e del Jamin, arriva a definire con molta precisione la temperatura critica ed a stabilire, tra altro, che il metodo ottico per determinare il punto critico (sparizione del menisco) « non è generalmente molto esatto perché la sparizione del menisco ha luogo ad una temperatura più elevata che la temperatura critica, e *le trouble* inoltre ha luogo a una temperatura sempre più bassa, a misura che la quantità di sostanza contenuta nel tubo da esperienze diviene più grande».

Recipienti Dewar per raccogliere e conservare aria liquida e simili.
Sono a doppia, od anche tripla, parete, ad intercapedine vuotata di aria al massimo grado possibile, ed a pareti argentate.

Parallelamente a tutto cotesto indagare degli scienziati avveniva l'entrare delle temperature basse nell'industria.

Il Pictet ideava i suoi tre cicli di raffreddamento successivo mediante liquidi ottenuti da condensazione di gas e svaporanti rapidamente: anidride carbonica e solforosa — dalla temperatura ordinaria a -110^{0} — protossido d' azoto liquido, raffreddato a -110° mediante il *liquido Pictet* testè nomi-

(1) « Si l'on vient alors » così è descritta la liquefazione nella nota dei due illustri chimici « à faire le vide sur l'oxygène, on voit aussitôt que l'ébollition rapide se produit, un liquide ruisseler à l'intérieur de la petite ampoule de verre.... L'ampoule de verre ne tarde pas à se remplir d'un liquide jaune clair, possedant une grande mobilité.... D'après cette expérience le fluor se liquéfie aux environs de -185° » ; temperatura determinata meglio in -187° (*Nouvelles exp. sur la liquéfaction du fluor* » *C. R.* T. 125, a. 1897, pag. 505-511, seduta del 11 ottobre 1897).

(2) Una versione ne ha pubblicata il Baye nel T. XIII, p. 411 a 430, a. 1888, degli *Ann. de Ch. et de Phys.* L'Andrews, sottoponendo di giorno in giorno per molti mesi una miscela di 3 volumi di anidride carbonica e 4,05 di azoto a pressioni variabili tra 40 e 300 atmosfere, giunse alle conclusioni che riportiamo testualmente:

1.° La legge delle miscele gazose quale fu enunciata dal Dalton è grandemente in difetto nel caso di miscele di azoto e di acido carbonico, sottoposte a pressioni forti; ed è probabile che essa non sia strettamente vera se non quando riguardi delle miscele di gaz in quello stato che si chiama lo *stato perfetto.*

2.° Il punto critico di temperatura è abbassato dall'aggiunta di un gaz permanente.

3.° Quando l'acido carbonico e l'azoto si diffondono l'uno nell'altro sotto forti pressioni, il volume della miscela aumenta.

4.° In una miscela di acido carbonico liquido e di azoto a temperature leggermente inferiori al punto critico, la superficie liquida perde la sua curvatura e si dissipa per l'impiego della sola pressione; ma a temperature più basse l'azoto è assorbito come d'ordinario e la curvatura della superficie liquida continua a sussistere per tutto il tempo per cui rimane visibile una parte del gaz, comunque piccola essa sia.

(3) *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1893, T. XXIX, pag. 400 a 432.

nato — da 110° a -160°; aria liquida — da -160° a -213° — e scopriva proprietà curiose, quale quella che i liquori alcoolici messi in un pozzo a - 90° acquistano in un attimo i pregi richiedenti, senza quel trattamento, lunga serie di anni. Onde, l'industria dell' « invecchiamento artificiale » del cognac.

L'americano Carlo E. Tripler, pittore e appassionato cultore della meccanica, ideava una macchina per la liquefazione industriale dell'aria ed iniziava a New York la produzione appunto industriale del nuovo liquido. Altrettanto facevano a Monaco di Baviera il dott. Linde ed a Londra il dr. Hampson. E l'aria liquida, facile a maneggiarsi — si conserva in bottiglie Dewar a doppia parete argentata, senz'altro tappo che un po' di cotone per impedire l'azione del calore esterno; e in siffatte bottiglie il dr. Linde la trasportò da Monaco a Barcellona — l'aria liquida, diciamo, divenne in

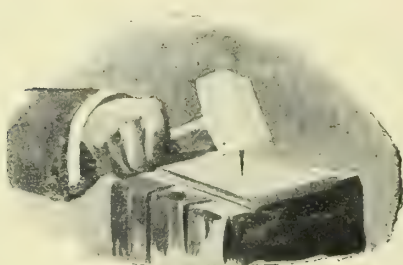
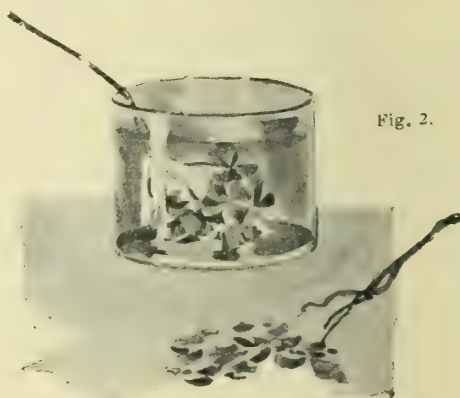



Fig. 1.

Fig. 2.

Esperienze con l'aria liquida.
Fig. 1. Il martello di mercurio. Fig. 2. Fiori in frantumi.

breve una grande attrattiva per il pubblico, a motivo della curiosità che offre in se e per se, e delle eleganti esperienze a cui si presta. Ricordiamo i fumi che segnano il diffondersi dei suoi vapori per il condensarsi dell'umidità atmosferica sul loro passaggio e che offrono vortici meravigliosi quando partono dalla gocciolina allo stato sferoidale, vagante alla superficie dell'acqua o dell'alcole; diapason o martelli fatti di mercurio ed usabili — fin che duri la temperatura bassa — come fossero di acciaio; i fiori che al contatto con l'aria liquida, pur conservando forma e colore, si fanno di colpo rigidi e fragili come se fossero di vetro, sì che per urto leggiero vanno in frantumi o con un pestello si riducono in minutissima polvere, mentre ricuperano tutta la loro morbidezza ove, invece, abbandonati a se stessi, riprendano la temperatura ordinaria; i recipienti a pareti di alcole riempiti con aria liquida, entro cui si può bruciare un filo d'acciaio ove l'estremo sia munito di un zolfanello avente la punta in ignizione; l'ebollizione violenta dell'aria liquida in un recipiente di metallo, ove questo si ponga sul ghiaccio; la fragilità del ferro, la rigidità ed estrema fragilità del caucciù, alla temperatura provocata in essi con l'aria liquida; l'attrazione che l'ossigeno liquido subisce dai magneti come se fosse ferro; una quantità insomma di esperienze offrenti dei lati veramente sorprendenti.

E, mentre il pubblico s'interessava grandemente per esse, l'aria liquida

diveniva al tempo stesso uno dei punti a cui mirano industrie disparatissime — dalla preparazione degli esplosivi, a quella dell'ossigeno (1).

Quante applicazioni hanno avuto poi i gas liquefatti! Ed, esse pure, come disparate!

Si usano nello scavo dei pozzi, per far congelare l'acqua degli strati acquiferi da attraversare con lo scavo — che allora si fa sicuro — e nella purificazione degli estratti di profumeria; si applicano alla conservazione dei cadaveri ed alla fabbricazione del ghiaccio; alla solidificazione rapida della cioccolata e all'estrazione della paraffina; alla concentrazione delle acque di mare nelle saline, e alla solidificazione rapida delle guttaperche nella fabbricazione dei cavi telegrafici; a ottenere che l'umidità dell'aria copra di uno

Fig. 1.

Esperienze con l'aria liquida.

Fig. 1. Ebollizione provocata dal ghiaccio. Fig. 2. Attrazione dell'ossigeno liquido operata da una elettrocalamita.

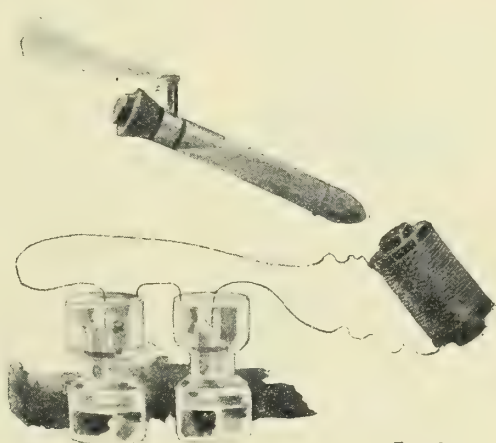



Fig. 2.

spesso strato di ghiaccio la piattaforma delle «montagne russe» ed a regolare l'attività dei fermenti nei depositi delle grandi fabbriche di birra.

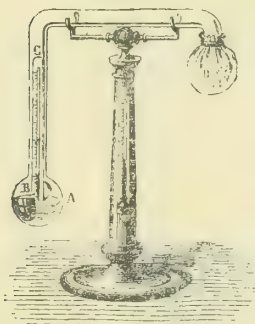
Quando si pensa a tutte coteste applicazioni industriali novissime, quando si pensa a tutto il lavoro scientifico che le ha preparate, agli orizzonti nuovi dischiusi al pensiero ed all'indagine; quando si pensa che le forze dome sono quelle stesse — l'energie delle molecole — che trascinano i nostri treni pesanti, quelle stesse davanti a cui, al Sempione, nessuna roccia resiste, quelle stesse capaci di effetti terribili quando l'uomo nell'accingersi a vincerle lo fa con mezzi inetti a resistere alla loro violenza; quando si pensa a tutto cotesto, è bello ritornare all'origine, al tubo «sporco» del Faraday.

V.

L'IGROMETRIA.

La superficie libera dei mari, dei laghi, dei fiumi, delle acque tutte; quella delle foglie di quanti sono i vegetali — dalle foreste lussureggianti dei tropici andando sino ai muschi ed ai licheni che segnano verso il polo l'estremo limite della vita inanimata —; tutti gli abitatori dell'immenso

(1) Alla pressione atmosferica l'azoto si liquefa a -194°,5, l'ossigeno a -181°,4. Il primo è dunque più volatile del secondo: da ciò viene che l'aria liquida abbandonata a se stessa va perdendo l'azoto e diviene perciò, relativamente, di più in più ricca di ossigeno.

oceano atmosferico; la stessa superficie del suolo in gran parte della terra; tutto cotesto costituisce un enorme apparato, da cui giorno e notte senza interruzione si riversa nell' aria il vapore acqueo, che poi il freddo delle alte regioni — e più quello prodotto dall'espansione che l'aria subisce nell'ascendere ove minore è la pressione — ricondurranno alla superficie della terra, perchè ricominci un altro ciclo, che sarà seguito da un altro e da un altro ancora, fin che duri l'attività della materia sul nostro globo. Quello, che il sommo cultore della fisica del mare — il Maury — disse degli oceani, si può ripetere in un certo senso di tutta quanta la terra e di quanti vivono alla sua superficie: superficie della terra e viventi sono, nell' insieme, il grande generatore di vapore del più imponente apparecchio di distillazione.

L' *igrometro a condensazione* del Daniell.

Legg. espl. — *A* bolla di vetro conten. etere; *C* termom. col bulbo imm. nell' et. stesso; *D* bolla di vetro comunicante con *A* ed avvolta con mussolina: dalle bolle e dal tubo di com. è tolta complet. l'aria. Quando dell'et. è versato su la mussolina, il freddo prod. dalla evap. condensa il vap. di etere contenuto in *D*, svap. quindi l'et. di *A*, ed il vetro di *A* si raffredda. Ad un certo punto il raffreddamento è tale che *A* si copre di un velo di *rugiada*. La temp indic. da *C* è quella alla quale il vapore acqueo conten. *attualmente* nell'atm. basta per saturarla. La tens. massima del vapore a cotesta temp. divisa per quella corrisp. alla temp. effettiva dell'aria quale è indic. dal termom. posto su la colonnina di sostegno, dà l'*umidità relativa* dell' aria. Non occorre dire che le tens. mass. del vapore si desumono dalle apposite tavole.

Alle vicende di questo vapore sono legate quelle delle varie regioni della terra. Perchè ne è priva l' aria del deserto sono di questo infocate le arene quando il sole le percuote e sterili, sono rigide le notti, è purissimo il cielo; perchè il monsone lo porta copioso alle alte montagne dell' India, sono di questa fertilissime ed insalubri le pianure belle.

Onde, la umidità dell' aria è elemento d' importanza capitale in quanto ha parte, col suo andamento, nel determinare i climi, ed in quanto i suoi valori influiscono su una quantità di fatti disparatissimi interessanti la vita fisica del globo e quella degli esseri che lo abitano — su l'elettricità atmosferica come su la vegetazione e sul benessere stesso degli animali.

Gli studi del Lambert e del Musschenbroeck, del De Luc e del De Saussure, del Le Roi e del Leslie, cui fu accennato — pag. 175 e 176 — dovevano nel secolo XIX dare luogo a metodi ed apparecchi molto ingegnosi per la misura di cotesta umidità.

Già fino dal 1820 il Daniell — « *On a new Hygrometer, which measures the force and weight of aqueous vapour in the atm. and the corresp. degree of evaporation* » e « *On the new hygrometer* » entrambe in *Quart. Journ. of Sc.*, la prima a. 1820, T. VIII, p. 298 a 336, la seconda a. 1820, T. IX, p. 128 a 137 e a. 1821, T. X, p. 123 a 144 — con quel suo igrometro *a condensazione o ad appannamento* che è descritto in tutti i trattati di fisica, dava corpo all'idea del Le Roy; e venticinque anni dopo il Regnault — « *Études sur l' hygrométrie* » in *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1845, T. XV, p. 129 a 236 — con i risultati di esperienze numerose ch'era andato eseguendo « per molti anni su cotesta parte della fisica generale presentante ancora, malgrado gli sforzi di molti fisici distinti, grandi incertezze » faceva conoscere il suo igrometro analogo a quello del Daniell — assai più perfetto, però — che è pure descritto nei trattati anche elementari.

Bisogna però venire all' ultimo quarto del secolo per trovare in cotesta

categoria di istrumenti degli apparecchi che siano ad un tempo squisiti e semplici nel maneggio. Li fornirono l'Alluard, direttore dell'Osservatorio del Puy de Dôme — modificando quello del Regnault — e il Crova.

Il primo — « *Nouvel hygromètre à condensation* » in *Journ. de Phys.*, a. 1878, p. 328 a 330 — circondando con una parete piana dorata un' altra parete pure piana e dorata — che, per raffreddamento ottenuto mediante rapida evaporazione di etere, deve appannarsi — dava, in modo semplice il mezzo di riconoscere con molta squisitezza cotesto appannamento, da cui, mediante osservazioni della temperatura alla quale avviene — tanto più bassa quanto più l'aria è secca — si ha il mezzo per misurare il grado di umidità dell'aria.

Il Crova poi, avendo notato come in condizioni climatologiche quali offre il mezzodì della Francia gli igrometri del Regnault e dell'Alluard non potessero dare sempre risultati buoni (1), ideava — « *Déscription d'un hygromètre à condensation intérieure* », in *Journ. de Phys.* a. 1883, pag. 166 a 169 — di fare che la condensazione del vapore acqueo atmosferico — determinante su l'apposita superficie metallica la formazione del velo di *rugiada* — avvenisse « à l'intérieur d'une enveloppe polie, refroidie extérieurement ». Dotava così la fisica di un istrumento molto opportuno per i casi di climi offrenti temperature elevate, venti forti e grande secchezza.

L'*igrometro a condensazione* del Regnault.

Legg espl. — Alle bolle comunicanti dell'igrom. del Daniell sono sost. due tubi di vetro isolati l'uno dall'altro, fiss. in ditali molto sottili di argento ben luc.; ciasc. cont. un term. In uno *E*, si versa dell'etere, e per il tubo *A* si può far gorgogliare dall'aria, ottenendo così rapida svap. dell'et. e raffreddamento del ditalino di argento fino a form. della *rugiada*, il cui punto viene determ med. l'app. termom. — Per tal modo non è necess. la pres. dell'operatore vicino all'app.°, non è necess. versare dell'etere su l'app.° con che si evita la causa di errore prov. dal vap. dell'acqua unita semprre all'etere; la temp. del liquido raffreddantesi è unif in tutti gli strati a mot. del rimescol. prod. dal gorgogliare dell'aria; si evita l'err. prov. dal raffreddamento dell'aria dovuto alla svap. dell'etere versato su la mussolina; infine l'osserv. del *punto di rugiada* si può fare anche quando l'aria sia estrem. secca, caso in cui non serve quello del Daniell.

Sorvoliamo su altri igrometri ad appannamento, e solo, per la parte avuta nella storia, facemo menzione di quello *a capsula* e dell'altro *a viera*, entrambi del Pouillet — *Élements de Physique expérimentale et de Météorologie*, T. II, pag. 713 della II edizione — e dell'igrometro *metallico* del Savary, di cui si occupò l'Arago — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1841, T. II, pag. 531 —.

Su l'igrometro a capello del De Saussure sarà il caso di ricordare come abbia vissuto e servito per molto tempo, come ne facessero oggetto di studio nella prima metà del secolo il Dulong, il Gay Lussac, il Melloni, il Regnault, e come ne fossero allora costruttori stimati il Paul di Ginevra e il Bunten. Non fu mai però istrumento paragonabile per bontà agli altri igrometri, fino a che — negli ultimi anni del secolo — la casa Richard di Parigi ebbe l'idea di usare un fascio di capelli, anzi

(1) « Dans le nord de la France l'état hygrométrique est généralement plus élevé et les vents moins violents que dans le Midi et surtout sur le littoral méditerranéen, qui offre à bien des égards, des particularités climatériques analogues à celles des côtes algériennes: des états hygrométriques extrêmement faibles par des vents assez violents, des sécheresses prolongées et des températures souvent très-élevés et variant rapidement constituent des circonstances très défavorables à des déterminations hygrométriques, surtout quand elles sont faites à l'air libre. Il n'est pas rare dans nos climats, de voir le point de rosée descendre à 20° et même à 30° au dessous de la température de l'air; si le vent sans être violent, souffle avec une certaine force, il est évi-

che un capello solo; idea attuata nei *registratori di umidità* analoghi ai termografi della stessa Casa, e tanto buoni da gareggiare per esattezza con il *psicrometro*, attualmente il più diffuso apparecchio di misura dell'umidità atmosferica.

Di questo, l'origine sta nel termometro del Leslie, e — più direttamente — nella proposta fatta dal Gay-Lussac nel « *Mémoire sur le froid produit par l'évaporation des liquides* »; memoria letta all' *Ac. des Sc.* il 6 marzo 1815 e di cui le conclusioni si trovano in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1822, T. XXI, p. 82 a 92. Proponeva egli di determinare lo stato igrometrico dell'aria « d'après le froid produit par l'évaporation » soggiungendo però ch'egli vi rinunciava perchè gli mancava il tempo per preparare le « tables très-étendues » che occorrevano « pour le déterminer avec exactitude ».

L'igrometro dell'Alluard. Riprod. della man. orig. citata nel testo.

Legg. espl. — *A* recip. prismatico — alt. 80 mm., lato della base 18 mm. —: *E* tubo per introd. l'et. nel recip.; *IFD* tubo per aspirare l'aria, che per *HGC* può andare al fondo di *A*, e gorgogliando, provoc. rap. la svap. dell'etere; *B* sup. piana dorata — come la parete ant. di *A* — e dest. a mettere bene in vista, per contrasto, la formaz. della rugiada su *A*, non appena essa comincia; *t* term.° per la lett. della *temp. di rugiada*.

Fu E. F. August professore a Berlino — « *Ueber die Verdunstungskälte und deren Anwendung auf Hygrometrie* » in *Pogg. Ann.*, a. 1825, T. V, p. 69 a 88 e 335 a 344 — colui a cui la scienza deve il *psicrometro*, giacchè egli ne fece lo studio completo, dando, col nome, la formola mediante la quale dalla indicazione dei due termometri — uno asciutto e l'altro bagnato — è possibile dedurre la tensione del vapore acqueo nell'atmosfera in un momento qualunque, e conseguentemente l'umidità dell'aria.

Metodo su cui per qualche tempo si contò — può dirsi ciecamente (1) — è quello chimico, immaginato dal Brunner — « *Déscription de quelques procédés pour l'analyse de l'atmosphère* » in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1840, T. III, p. 305 — col quale si fa assorbire da sostanze opportune tutta l'umidità di una certa quantità di aria, e dall'aumento di peso di coteste sostanze — confrontato col volume dell'aria disseccata — si deduce poi il peso effettivo dell'acqua contenuto in un litro di aria. Ma ora non viene impiegato che per l'analisi quantitativa dell'aria, non per conoscerne lo stato igrometrico: il tempo occorrente al passaggio dell'aria attraverso le sostanze essiccanti perchè si abbia assorbimento del vapore in quantità sufficiente a dare pesate attendibili è troppo lungo; e per di più il metodo non è nè semplice, nè pratico.

demment impossible dans ces circonstances, que la nappe d'air qui glisse rapidement sur la surface polie del l'hygromètre se mette instantanément en équilibre de température avec elle, et de là resultent des erreurs souvent considérables; de plus la nécessité d'opérer en plein air est souvent pénible pour l'observateur, surtout par des températures extrèmes et des vents assez forts, et l'on conçoit que l'exactitude des déterminations se ressente aussi des circonstances défavorables dans lesquelles il se trouve placé » Crova, *Sur l'Hygrométrie* in *Journ. de Phys.*, a. 1883, pag. 453.

(1) Di esso scriveva il Regnault — *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1845, T. XV, p. 164 — « Cette méthode est tout-à-fait rigoureuse et elle est très-utile pour étudier la marche des autres hygromètres ». Parole coteste a cui fanno un riscontro che sarebbe assai strano, ove non fosse spiegabile per il progresso realizzato anche in questa branca della fisica, queste altre del Crova — *Journ. de Phys.*, a. 1883, pag. 450 —: « Il importe en méthéorologie, d'être en possession d'une méthode qui permette d'obtenir rapidement l'état hygrométrique avec toute l'exactitude possible, afin de pouvoir comparer les instruments d'observation courante... La méthode chimique ne m'a pas paru atteindre ce but ».

Altri metodi ed apparecchi furono immaginati.

Così il Subic comunicava all'Accademia di Vienna — 1876 — il suo metodo del *manometro-igrometro*, col quale, misurando la tensione di un certo volume di aria umida e quello della medesima disseccata, si deduce per differenza la tensione del vapore; e recentemente — 1900 — il Salvioni — realizzando più felicemente un concetto analogo a quello che aveva guidato nel 1839 il Majocchi nella costruzione dell'*igrometro a tensione* — ideava invece di dedurre la quantità del vapore da quella dell'acqua occorrente a saturare un dato volume dell'aria di cui si vuol conoscere lo stato igrometrico. Il Nodon — 1886 — costruiva un *igrometro a gelatina*, ricoprendo con cotesta sostanza un'elica in cartoncino bristol resa insensibile all'umidità mediante del bitume di Giudea; e il russo Salougowski — 1890 — ideava un *igrometro medicale*, utilizzando come sostanza igrometrica un tessuto vegetale naturale.

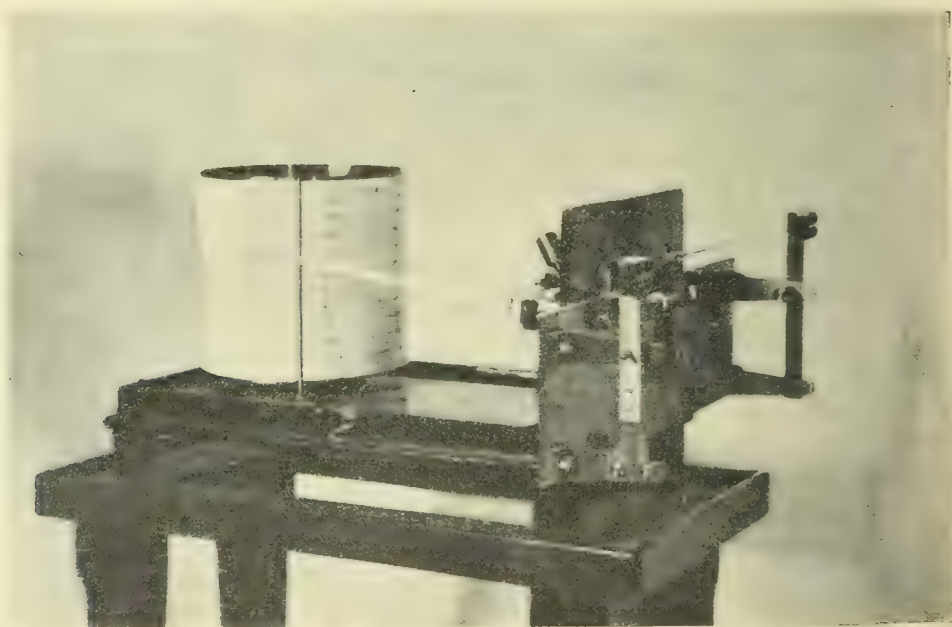
Cotesti tessuti vennero negli ultimi anni utilizzati anche alla costruzione di quegli *igroscopi* grossolani cui il volgo dà tanto impropriamente il nome di barometri: due sottili striscie di abete tagliate l'una nel senso delle fibre, l'altra in quello perpendicolare, sono incollate l'una contro l'altra, in modo da formare un unico esile regolo, il quale — per la lunghezza relativa delle striscie — è rettilineo in condizioni di media umidità atmosferica, e s'inflette in un senso o nell'opposto secondo che l'aria è maggiormente umida o secca. Cotesti igroscopi, ed altri basati su altri principi — notevoli i *fiori* e le *pezzuole*, di carta o tela imbevute di qualche sale di cobalto, e che mutano di colore secondo lo stato igrometrico dell'aria, perchè cotesti sali sono azzurri se anidri, rossi ove abbiano assorbito acqua, anche solo quella costituente la umidità atmosferica se questa sia un po' grande — si andarono sostituendo ai primi ideati, nei quali un capello digrassato, od un pezzo di corda da violino, determinavano — con la variazione di dimensioni dipendente dalla variazione di umidità dell'aria — il moto di un piccolo indice su un quadrantino, o — cosa che ha sempre formato la delizia del popolino — moti, come il coprirsi o lo scoprirsi del capo di una figurina, o l'uscire da una garitta di una figurina munita di parapioggia piuttosto che di un'altra provvista di parasole.

L'igrometro del Crova.
Riprod. dalla monogr. orig. del Crova citata nel testo.

Legg. espl. — Un tubo — in ott. nikelato — è posto all'int. di una scatola prism. che si riempie per due terzi di solfuro di carbonio attraverso al quale si può far gorg. dell'aria med. due tubul. apposit. disp. — visib. nella fig. alle estr. della picc. cassa prism. L'aria di cui si vuol mis. lo stato igrom. si fa pass. attr. il tubo centr. med. spec. tubul. poste alle estr., esternam. alle prime e, come queste, distint. visib. nella figura. Una di cot. tubul. è in rame o piombo flessib., e se ne dirige l'orifizio nel punto in cui è l'aria della quale si vuol mis. lo stato igrom. Quando si fa gorg. l'aria attrav. al solf. di carb., dopo un certo tempo si forma nell'int. del tubo centrale un velo di rug. che si osserva da un estr. del tubo, munito di lente converg che fa da microscopio sempl., e riesce visib. perchè l'altra estr. del tubo è chiusa da un vetro smerigliato. Per le avvert. spec. su l'uso di cotesto igrom. veram. prezioso nel caso delle condiz. climatologiche per le quali fu ideato dobb. rim. il lett. alla mon. del Crova cit. nel testo.

Ma, lasciando cotesti apparecchi — i quali ebbero ed hanno tanta diffusione perchè servono al popolo, che ama valersene a trarre oroscopo su lo stato

probabile del cielo — e tornando agli istrumenti e metodi di misura, sarà a notarsi come, malgrado le parecchie invenzioni andatesi compiendo, i metodi comunemente usati alla fine del secolo XIX erano sempre — e sono tuttora — l'uso dell'igrometro dell'Alluard o di quello del Crova, e — assai più diffuso, così da potersi considerare universale — l'impiego del psicrometro, mentre tra i molti registratori di umidità teneva — e tiene tuttora — il primato nella diffusione e nella perfezione l'istrumento dei Richard.

Quando però — come è pur necessario di fare — si volesse considerare lo stato dell'igrometria alla fine del secolo, sarebbe doveroso il notare come

Il registratore Richard di umidità.

Legg. espl. — Un fascio di capelli digrassati e opp. prep., visib. nella parte a destra della figura, è fissato ai suoi estr. tra due picc. montanti metall. verticali, e teso nel mezzo med. un piccolo uncino girev. int. ad un asse orizz. Il variare della lungh. dei capelli fa oscill. l'uncino, e cot. moto si trasm. ad un lungo indice. munito di penna. Questa poi scorre lungo la sup. di una cartina tesa su un cil. girevole per rot. d'orolog., e segna quindi su la cartina stessa l'andamento della umidità relativa.

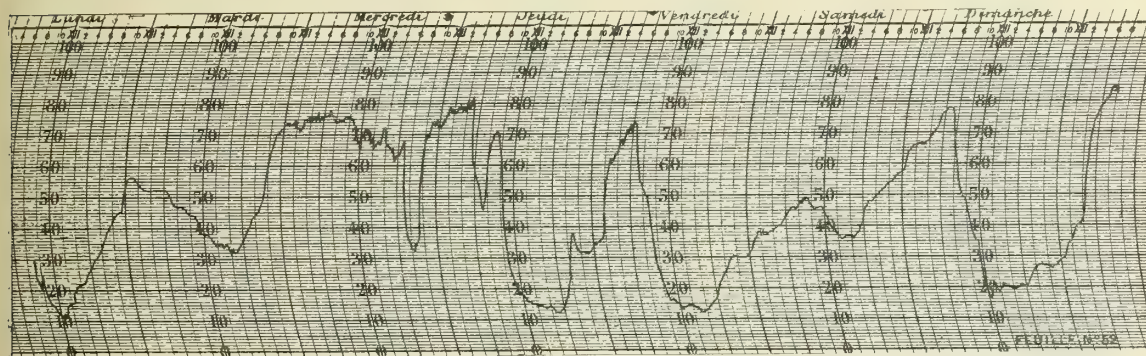
essa non abbia raggiunto un grado di precisione pari a quello conseguitosi nella determinazione di altri elementi fisici o meteorici (1), senza contare che osservazioni sicure non sono affatto possibili nei climi molto rigidi, come le ultime spedizioni polari hanno dimostrato. L'igrometria — tra le branche della fisica, le quali solo nel secolo XIX trovarono metodo veramente scientifico — è quindi ad annoverarsi come una delle meno progredite. Eppure essa ha per oggetto uno degli elementi più importanti nella distribuzione delle temperature, e — anche per ciò — come fu osservato al principio, della ricchezza e della vita stessa alla superficie della terra!

(1) Così ad esempio: nelle letture barometriche ordinarie l'errore che si commette è minore di mezzo decimo di millimetro, il che su la pressione normale, di 760 mm., costituisce meno di sei centomillesimi del valore misurato: in quelle termometriche, pure comuni, l'errore è minore del mezzo decimo di grado. Invece nella misura dell'umidità relativa col psicrometro l'errore può giungere facilmente all'uno per cento.

VI

Le sorgenti e la propagazione del calore. La Termodinamica.

In un secolo nel quale lo spirito di investigazione fu tanto potente da portare ad un vero rinnovamento delle basi delle scienze, era più che naturale si avessero a prendere in esame le sorgenti del calore, misterioso agente della vita fisica del mondo inorganico e dell'organico.

Su questo, da cui — perchè la questione tocca l'uomo medesimo — ci piace cominciare il rapidissimo sguardo, il Regnault — *Ann. dn Ch. et de Phys.*, a. 1849, T. XXVI, p. 300 — ricorda vecchi lavori del Boyle, dell' Hales, del Cigna, del Black, del Priestley, « les premiers qui se soient aperçus que

Andamento dell' umidità atmosferica durante una settimana.

Riprod. di curva otten. col registratore Richard funz. al *finestrino meteorico* ann. alla Scuola di Fisica dell' Istituto Bognetti-Boselli e Liceo Libero A. Manzoni in Milano.

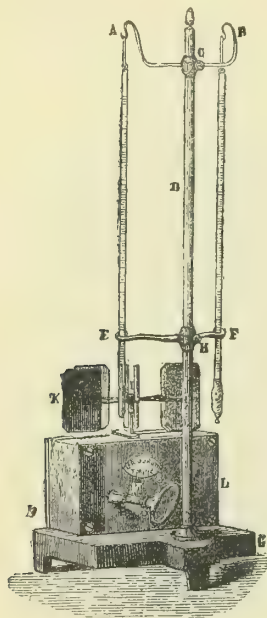
Avvertenza: l'intervallo tra due linee orizzontali corr. ad 1 per cento di umidità: quello tra due linee arcuate consecutive corrisp. ad un periodo di tempo di due ore. La curva riguarda l'andamento durante una settimana di primavera, serena e con buona ventilazione diurna.

la respiration exerce une action marquée sur l'air de l'atmosphère, qu' elle en diminue le volume, qu'elle en change la nature, et qu' en un assez court intervalle de temps, le fluide qui sert à cette fonction perd la faculté d'entretenir la vie des animaux ».

Ma aveva ben ragione il Lavoisier di scrivere nel 1783 (1): « Iusqu'à ces derniers temps on n'avait eu que des idées vagues et trés-imparfaites sur les phénomènes de la chaleur qui se dégage dans la combustion et dans la respiration ». A lui veramente spetta il merito di avere, primo, stabilito su basi certe una teorica del calore animale — sperimentando su cavie, delle quali determinava il carbonio bruciato per la respirazione, e, ponendo uno di codesti animali nel calorimetro a ghiaccio, il corrispondente calore prodotto.

Che se a quelle esperienze può muoversi qualche appunto tutt'altro che lieve — il grande fisico non aveva determinato i due elementi valendosi di un unico animale, e di più non aveva tenuto conto dell'idrogeno bruciato — esse costituiscono però il punto di partenza degli studi sul calore animale; ed hanno pur sempre un grado di precisione ben maggiore di quelle del Crafword — « *Experiments... on animal heat* », Londra 1788.

(1) Mémoire sur la Chaleur, pag 41.

Di cotesta sorgente di calore lo studio cominciò veramente a svilupparsi nel secolo XIX con quel lavoro del Despretz « *Recherches expérimentales sur la chaleur animale* » — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1824, T. XXVI. pag 337 — a cui l'*Ac. des Sciences* conferiva il 1 giugno 1823 il premio di fisica: i lavori antecedenti, quale quello del Bichat — « *Recherches sur la vie et sur la mort* » — di Allen e Pepys — *Philos. Trans.* del 1808 — del Brodie — « *Further Experiments and Observations on the influence of the Brain on the generation of Animal Heat* » *Phil. Transact.*, a. 1812, pag. 378 a 393 — del Legallois — « *Mémoire sur le Chaleur animale* » in Ann. de *Ch. et de Phys.*, a. 1816, T. IV, p. 5 — del Chaussat — « *Mémoire sur l'Infl. du syst. nerveux sur la chal. anim.* » pres. a l'*Ac. des Sc.*, il 15 maggio 1820, di cui un estratto ampio si trova in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1820, T. XV, p. 37 a 49, e che dava origine a un lavoro letto il 4 settembre dello stesso anno dal De La Rive alla *Soc. de Phys. et d'Hist. Nat.* di Ginevra (1) — tutti cotesti lavori devono considerarsi come di fisiologia più che di fisica.

Il *psicrometro*.
Modello degli osservatorî meteorici italiani.

Legg. espl. — *A* termometro asciutto; *B* term. col bulbo ricop. di mussolina: *K* ruota a palette per agit. l'aria durante l' osserv. Questa si fa bagnando con acqua distill. il bulbo di *B*, e lasc. lib. la ruota a pal L'acqua che bagna la muss., svaporando, raff. cot. bulbo; così, mentre *A* continua ad indic. la temp. dell' aria, *B* ne indica una di più in più bassa. Ad un certo punto la diff. dei due term. cessa di crescere: si rileva allora la diff. tra i due term.; essa e il num. che si ottiene col sottrarre cot. diff. dalla temp. indic. originariamente dal term. *asciutto* costituisc. due dati med. i quali si trov. su le app. tavole — *tav. psicrometriche* — la tens. del vap. acq. esist. nell'atm. e il grado di umidità di essa detto *umidità relativa*.

La memoria del Despretz, invece, costituisce uno studio sistematico del problema del calore animale; studio fatto con più che duecento esperienze istituite in periodi diversi — agosto e settembre 1822, settembre e ottobre 1823, gennaio, febbraio e marzo 1824 — e su molte varietà animali « sur des canards adultes et jeunes » dice il Despretz — *Ann. de Ch. ed de Phys.*., a. 1824, T. 26, p. 361 — « sur des poules, des coqs, des poulets, des pigeons adultes et jeunes, des goelands, des buses, des ducs, des pies, des houettes, des chiens et des chats adultes et jeunes »; e di cui i risultati erano stati abbastanza concordi.

Pressapoco alla stessa epoca il Dulong — « *Mémoire sur la chaleur animale* », l. all'*Ac. des Sc.* il 2 dicembre 1822, e pubbl. in *Ann. de Ch. et de Phys.* molto più tardi, e cioè nel 1841, T. I, p. 440 a 455 — istituiva esperienze analoghe.

Entrambi i grandi fisici francesi testè ricordati operavano chiudendo l'animale entro una cassa posta in un calorimetro ad acqua, alimentando la respirazione con una corrente di aria pura fornita da apposito gazometro, e raccogliendo i gaz espirati in altro gazometro. Misurando la quantità di ossigeno consumato e quella di anidride carbonica prodotta, trovavano per questa un peso di ossigeno minore di quello consumato, e assumevano come dovuta a combustione dell'idrogeno la differenza tra i due pesi. Così essi avevano pensato di rimediare alle cause di errore in cui era incorso il Lavoisier.

(1) « *Observ. sur les causes présumées de la chaleur propre des animaux* » È riportato per intero nel N° del settembre 1820 della *Bibl. Univ.* di Ginevra, e, per la parte importante, nel T. XV, stesso anno, degli *Ann. de Ch. et de Phys*, pag. 103 a 111.

Sgraziatamente anche coteste esperienze oggi non possono più accettarsi, vogliasi perchè non può ammettersi che gli elementi del sangue che vengono combusti svolgano quantità di calore pari a quelle che svolgerebbero allo stato di libertà, vogliasi perchè non è vero che la differenza dei due pesi di ossigeno era tutta impiegata a combustione dell'idrogeno — ossia a formazione di acqua —, vogliasi ancora perchè sono trascurate tutte le azioni chimiche della digestione; vogliasi infine perchè nessun conto è tenuto del freddo prodotto dalla svaporazione. Bisogna notare, per altro, che il fenomeno è talmente complesso che ancora non molti anni or sono un eminente fisico francese, il Jamin — « *Cours de Phys. de l'École Polytecn.* » T. II, fasc. III, p. 125, Gauthier Villars, 1882 — riteneva impossibile « il rendersi conto esatto di tutte le azioni che si producono nella economia, misurare le quantità di calore sviluppate in ciascuna di esse, e farne la somma ». Al che sarebbe da aggiungere la grande mutabilità dell'organismo secondo le condizioni sue di lavoro o di quiete, come notava il Villari. — « Osserv. sulla variaz. di temp. del corpo umano prod. dal movimento », in *Mem. dell'Accad. delle Sc. dell'Ist.* di Bologna, a. 1879, serie 4ª. T. I, p. 39 — In realtà però il secolo XIX non tramontava senza che in cotesta questione venissero istituite esperienze molto concludenti — da Atwater e Rosa — come si dirà tra breve.

L'*igrometro a tensione* del Majocchi.

Dalla Nota orig. del Majocchi in *Annali di Fisica e Chimica*, Milano, T. I, 1841, riprod. dall'aut. stesso in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1847, T. XIX.

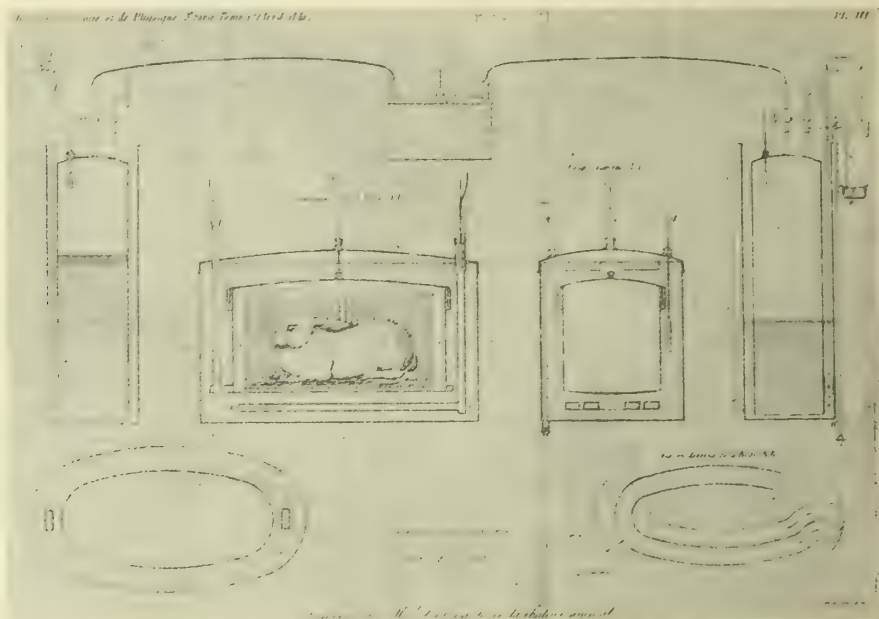
Legg. espl — *AB*, *ab* tubi in vetro mun. di chiav. e com. in basso per il condottino *Aa*; *T* tubo in ferro con imb. e chiave. Volendo determ. la quantità del vap. acqueo cont. nell'aria, si toglie *T*, si riempiono di merc. *AB* e *ab*: poi, aprendo *D*, si lascia defl. il merc. mentre per *B* che rim. ap. il tubo *BA* si riempie di aria. Si lascia nel fondo un po' di merc. cos che il sist. dei tubi forma un manom. Poi si avvita *T*, e si introd. per esso qualche goccia di acqua in *BA* fino a saturare. La tensione del vap. formatosi può misurarsi dal dislivello che prod. nel merc. dei due rami del man. Da essa — tanto più picc. quanto più umida era l'aria — e da altri dati — vol., temper., ecc. — con una form. si ded. lo stato igrom. dell'aria.

Notiamo incidentalmente come qualche lato della questione del calore animale fosse preso tosto ad esame in modo magistrale; ricorderemo, su la respirazione, il lavoro importantissimo di Regnault e Reiset — « *Rech. chim. sur la respir. des animaux des div. classes*, in *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1849, T. XXVI, pag. 299 a 519 —; e l'altro antecedente — « *Rech. sur la quant. d'acide carbonique exalè par le poumon dans l'espèce humaine* » in *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1843, T. VIII, p. 129 a 150 — di Andral e Gavarret (1).

Ciò che in linea principale è a notarsi qui, si è come con il Mayer — « *Die organische Bewegung und der Stoffwechsel* » Heilbronn, 1845 — la questione

(1) Da quel lavoro veramente interessante, compiuto su molti individui di sesso, età e robustezza differenti, e per il sesso femminile in condizioni normali e in quelle fisiologiche speciali, risultano i seguenti dati medi:

Età degli ind.	Peso in kg.	Carbone bruciato in 24 ore	Anidr. carb. in 24 ore	Carb. per ind. e per Kg.
8 anni	22,25	120,8	442,9	5,4
16 »	53,39	259,2	950,4	4,8
40 a 60	68,8 a 65,5	247,4	888,8	3,6
60 a 80	65,5 a 61,2	229,8	809,6	3,4

del calore animale entrasse in una fase affatto nuova, giacchè l'animale — concezione mirabilmente ardita, ove si consideri l'epoca nella quale il Mayer la pubblicava — doveva essere riguardato quind' innanzi come una macchina termica nella quale ogni movimento è trasformazione in forza del calore di combustione producentesi nei tessuti, e ad ogni lavoro esterno compiuto cor-

Apparecchio del Dulong per il calore animale.

Ripr. della tav. III, T. I, a. 1841, degli *Ann. de Ch. et de Phys.*, monogr. orig. del Dulong « *Mém. sur la chal. anim.* ».

Legg. espl. — *AA'* serb. in latta, di forma cil. ed a base ellitt., destin. a ricev. la scat. *BB'*, di forma sim. alla prec. in cui ven. chiuso l'animale sottop. ad esper.; *D* tubo per il quale arrivava l'aria per la respir. dal gazom. *G*. L'aria, dopo essersi mescolata con quella della scatola *BB'* passava nel tubo *EE'* e poi al gazom. *G'* in cui era raccolta impcdendole di venire a contatte con l'acqua — per evit. lo sciogliersi in questa dell'anidride carbonica espirata — med. un tappo a lamina di sughero ed a lembo di taffetà impermeab. Veniv. determ. la quautità e composiz. dell'aria, e quindi dell'ossigeno, forn. in un dato tempo; il calore ceduto dell'anim. al calorim.; la quantità di anidride carbonica esalata. Sec. le idee del Lavoisier cotesti dati bastav. a calcol. la quant. di carbonio e di idrog. bruc. dell'anim., e, quindi col moltiplicare per i rispettivi calori di combinaz. — la quantità totale di cal. svilupp. dalla respir dell'anim.

risponde una quantità proporzionale di calore perduto; calore, la cui origine è nella combustione degli elementi introdotti dalla nutrizione.

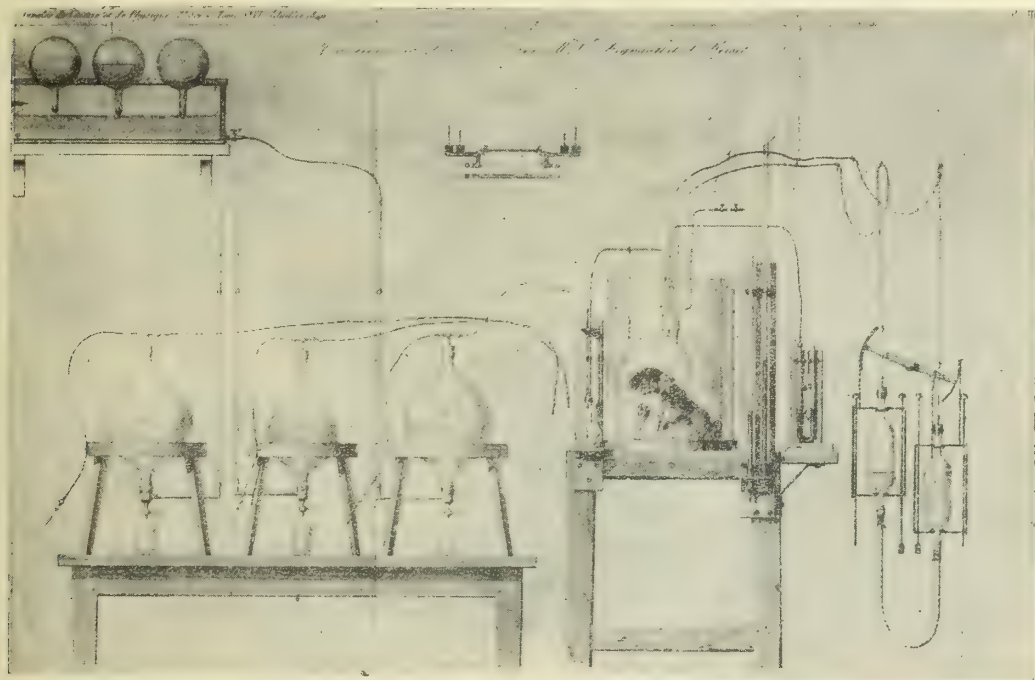
Fu secondando queste vedute che l' Hirn venne portato dal suo genio alle celebri esperienze di cui già fu detto — pag. 30 e 31 —.

Con coteste esprerienze dell'Hirn una parte delle quali si potrebbe ripetere molto bene col calorimetro ideato dal Marcet « *De la calorimetrie humaine* » in *Arch.* di Ginevra, a. 1899, T. VIII, p. 217 — ricordiamo l'altra bellissima del Béclard (1). Un termometro applicato sui muscoli del braccio dimostra che il calore svolto dalla contrazione di essi è diminuito ogni volta che per cotesta contrazione si compie un lavoro esterno — ad esempio si solleva un peso — e che invece è aumentato quando i muscoli reggono un peso che cada obbedendo alla gravità.

Ricorderemo anche gli studi del Frankland (2) a proposito della necessità

(1) BÉCLARD, *Archives Générales de Médicine*. Vedere anche HEIDENHAIN *Mechanische Leistung, Wärmeentwichelung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit,* Leipzig, 864.
(2) In *Revue des Cours scientifiques*, 4° anno, p. 81, 1866-67.
Questa e la citazione antecedente sono prese dal Jamin, op. cit. *l. c.*

di alimenti azotati per riparare la materia perduta dai muscoli nel lavoro, e dai quali fu dimostrato che sorgente principale del calore è la respirazione, che il nutrimento più atto ad aumentare il lavoro disponibile deve comporsi di grassi e di fecola, e che gli alimenti azotati servono a mantenere e a sviluppare gli organi del moto, vale a dire i muscoli.

E, per venire ad esperienze più recenti, ricorderemo i due lavori del

Apparecchio di Regnault e Reiset per le esp. sulla respirazione animale.

Ripr. della Tav. III, T. XXVI, a. 1849 degli *Ann. de Ch. et de Phys.*, monog, orig. dl Regnault e Reiset cit. nel testo.

Legg. espl. — *A* campana sotto la quale ven. posto l'anim. assoggett. ad esp. A destra sist. di pipette com. con un tubo di cauciù e dotate di moto altern. impresso da un bilanc.; esse conten. della potassa caust. destin. ad assorb. l'anidr. carb. conten. nell'aria esp.: il moto altern. serv. a far arriv. alla potassa l'aria esp. ed a rimand. alla campana dopo che av. ced. l'anidr. carb. A sinistra app. destin. a mandare in camp. l'ossigeno occorr. a manten. costante la compos. dell'aria. — Si avev così dall'aum. di peso della potassa il peso dell'anidr. carbon. form., e dall'analisi qualit. e quantitat. dell'aria rim. in camp. gli elem. relativi agli altri corpi, come azoto, idrog. carbur. o libero, ecc.

Berthelot — il primo compiuto insieme a P. Petit — pubblicati negli *Ann. de Ch. et de Phys.* — a. 1890, T. XX, pag. 13 a 20 e 177 a 202 (1), dai quali risulterebbe come « l'azote amidé qui a concouru à constituer les principes immediates des êtres vivants est brulé bien plus difficilement que leur carbone et leur hydrogène; ... L'azote introduit par les aliments traverse l'organisme, en conservant à peu près toute son énergie calorifique, par opposition à ce qui arrive pour le carbone et l'hydrogène de ces mêmes aliments »; e che il calore animale può essere decomposto in due parti: una prima parte, $\frac{1}{7}$ circa, si svilupperebbe nel polmone stesso per la fissazione dell'ossigeno, mentre i rimanenti $\frac{6}{7}$ si svilupperebbero per le reazioni propriamente dette di *ossidazione* e di *idratazione*.

(1) « *Sur la chaleur animale et sur la chaleur de formation et de combustion de l'urée* ».
« *Sur la chaleur animale. Chaleur degagée par l'action de l'oxygène sur le sang* ».

Ricorderemo infine quelle importantissime, già accennate e durate cinque anni — « *A new respiration Calorimeter, and experiments on the conservation of energy in the human Body* » — che Atwater e Rosa hanno pubblicato nel periodico americano *The Physical Review* — il *Journal de Phys.*, a. 1900, pag. 352, ne dà un riassunto — e dalle quali non solo emergono confermate pienamente le vedute dal Mayer introdotte nella scienza moderna, ma risultano dati assai interessanti riguardo alla *macchina* umana (1).

Così, se questioni particolari numerose e complesse rimangono a risolversi rispetto al calore animale, le grandi linee della sua generazione erano, alla fine del secolo, perfettamente tracciate.

Cotesto calore, che per un meraviglioso equilibrio tra produzione e consumo, permette agli animali di avere una temperatura propria — per l'uomo è di circa 37°, si trovi egli esposto a quelle di 63° sotto lo zero, quali furono osservate nell'Asia del N. E. a Werkojansk, od ai 67° sopra lo zero osservati dal Duveyrier nel paese dei Tuareg —; cotesto calore, diciamo, è dovuto alle azioni chimiche, come fu osservato implicitamente nel riferire gli studi di cui fu oggetto.

In coteste azioni sta infatti una grande sorgente di calore, oggetto pure di studi copiosissimi durante il secolo XIX, nei quali, tuttavia, non ci è possibile entrare in particolari maggiori di quelli accennati occasionalmente nel tracciare la storia della calorimetria.

Altrettanto dobbiamo fare rispetto ad un'altra sorgente di calore: quella che è nelle azioni meccaniche, e di cui si discorse nella introduzione, parlando della teoria dinamica del calore e degli esperimenti del Rumford, del Joule, dell'Hirn.

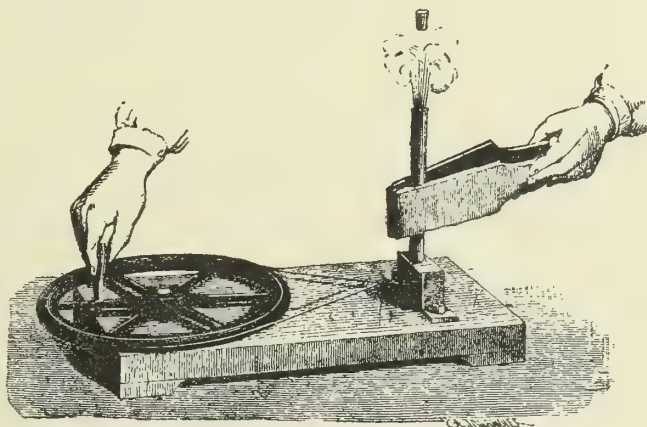
Ricorderemo solo che esperimenti analoghi si andarono compiendo anche nell'ultimo quarto del secolo. Così il Puluy — *Sitzungsberichte* dell'Acc. delle Sc. di Vienna, 1875, I, sem. — mediante l'attrito di due tronchi di cono, di ghisa, coassiali, sfregantisi l'uno entro l'altro per le loro superficie laterali, e

(1) Riportiamo i dati e risultati di una esperienza su l'uomo in riposo, togliendoli dal riassunto citato, e notando che quelli delle altre sono analoghi: Il nutrimento assorbito per giorno equivale a 2717 grandi calorie, i residui a 294; restano 2423 calorie per l'energia fornita. Ma 140 furono accumulate nell'organismo sotto forma di grasso e 27 perdute per combustione di sostanze proteiche. Restano dunque 2423 — 140 + + 27 = 2310 calorie per l'energia che deve comparire sotto forma di calore: ora il calorimetro ne ha misurato realmente 2275. Cotesta differenza di 35 calorie, ossia 1,5 %, rappresenta 4 grammi di grasso, o 14 di pane: è abbastanza piccola perchè si possa metterla nel conto degli errori inevitabili in un'esperienza così complicata.

Coteste esperienze duravano otto giorni ciascuna; nei quattro primi il soggetto era fuori della camera-calorimetro, ma sottoposto a regime per creare in esso lo stato *stazionario*. La sera del quarto giorno entrava nella camera — ove mangiava, beveva, dormiva, lavorava per tutto il rimanente del periodo assegnato — e il mattino successivo si cominciavano le determinazioni che duravano fino al mattino del nono giorno.

Sul rendimento meccanico della *macchina* umana il citato riassunto dà quanto segue: Il lavoro medio compiuto per giorno — otto ore di lavoro — equivale a 256 grandi calorie, ossia 109000 chilogrammetri. Ma l'energia consumata è più grande che nel caso, considerato sopra, dell'uomo in riposo: essa raggiunge 3726 calorie. Il rendimento in lavoro meccanico è dunque $\frac{256}{3726} = 0{,}07$. Ma si può anche ragionare diversamente: poichè il soggetto in riposo impiega normalmente 2500 calorie per il mantenimento della vita, non avrà consumato per il lavoro che la differenza 3726 — 2500 = 1226. Il rendimento, secondo cotesto modo di vedere, raggiungerebbe $\frac{256}{1226} = 0{,}21$.

Notano però gli autori come, non essendo il soggetto *entrainé* per il lavoro meccanico richiesto da lui, i numeri esposti sopra sono lontani dal rappresentare il rendimento massimo della *macchina* umana.

mediante il riscaldamento provocato da esso in mercurio contenuto in quello interno, misurava il calore prodotto, mentre d'altra parte misurava il lavoro consumato nel produrre l'attrito, e riduceva ad esperienza di corso la determinazione stessa dell'equivalente dinamico della caloria. Il Sahulka — *Wied. Ann.* a. 1890, TXLI, p. 748 a 755 — ripeteva, con modificazioni, le esperienze del Puluj. Il Rowland all'Università Hopkins di Baltimora — *Proc. of the Am. Ac. of Arts a. Sc.*, giugno 1879, e il Miculescu al *Lab. des Rech. Phys.* alla Sorbona, a Parigi — *Journ. de Phys.*, a. 1892, p. 104 — ripetevano con modificazioni quelle del Joule su l'attrito di una ruota a palette girante nell'acqua. Il Bartoli — *Nuovo Cimento*, a. 1880, T. VIII. p. 5 — operava con l'efflusso di mercurio; e con caduta pure di mercurio operavano press'a poco alla stessa epoca il Cantoni ed il Gerosa — *Atti della R. Acc. dei Lincei*, a. 1882, T. XII, p. 437. — E, se quel geniale conferenziere, che fu il Tyndall, ideava la bella esperienza di corso consistente nel far saltare violentemente il tappo che chiude un tubetto verticale di ottone contenente etere, quando il tubetto — facendolo rotare velocemente entro una pinza strettagli contro — si riscalda così da provocare una produzione copiosa di vapore di etere; il Puluy — come fu accennato — ed il Bartoli — *Nuovo Cimento*, a. 1884, T. XV — riducevano ad esperienza semplicissima di corso non solo la conversione di lavoro meccanico in calore, ma appunto la stessa determinazione dell'equivalente dinamico della caloria.

Esperimento del Tyndall.

Serve, nei corsi, a dimostrare la conversione del lavoro meccanico in calore. *Legg. espl.* — In un tubetto metallico vertic. si versa una certa quant. di etere. Chiuso il tub. con un tappo di sugh., lo si stringe fortem. presso la base med. una pinza di legno riv. all'interno di panno, e med. un volantino ed una correggia s'impr. al tub. un moto rapidiss. di rotazione int. al suo asse vertic. L'attrito del panno contro la par. est. del tub. determ. un riscald. suff. a far boll. l'etere, e, quando si è prod. nell'int. una quant. bastev. di vap., il tappo viene proiettato fuori con una grande violenza.

Inutile aggiungere che i dati teorici derivanti da coteste esperienze sono divenuti di una applicazione continua. Citiamo tra le più curiose ed interessanti quelle fatte dalla fisica terrestre al calcolo della elevazione di temperatura che nelle acque dei fiumi e nella pioggia portano rispettivamente il fatto dello scendere e quello della caduta — 1° per circa 427 metri di dislivello —; ed a quello delle variazioni piccole di temperatura che devono avvenire nell'oceano acqueo per le maree, e delle grandi che devono prodursi nelle masse di quello atmosferico, perchè l'aria tra i tropici si solleva e si espande — compiendo il doppio lavoro del vincere la gravità e del dilatarsi — e perchè — dopo essersi spinta verso i poli, divisa in due enormi correnti — ridiscende per ritornare all'equatore.

Tra le sorgenti di calore vuole pure essere annoverata l'elettricità; sorgente potentissima, per la quale diviene brillante il carbone e fondono le

sostanze più refrattarie: ma il parlare di essa converrà sia differito a quando si dirà di cotesto misterioso agente, a cui dobbiamo le meravigliose invenzioni che fecero attonito il mondo durante il secolo scorso.

Qui sarà piuttosto il caso di parlare del calore che ci manda il sole.

Ne fecero misure il Pouillet — 1838 — col suo *pireliometro diretto*, determinando il riscaldamento operato dai raggi solari in un dato tempo in una piccola massa — 100 grammi circa — di acqua, disposta in modo da presentare ad essi in direzione normale una superficie conosciuta, e col *pireliometro a lente*, nel quale il calore dei raggi solari cadenti normalmente su una grande lente — diam. 24 a 25 cm., distanza focale da 60 a 70 — veniva concentrato su un vaso d'argento — contenente circa 600 grammi di acqua — di forma opportuna perchè, qualunque fosse l'altezza del sole, i raggi concentrati al fuoco della lente venissero assorbiti.

Studî su le radiazioni solari avevano pure fatti con *attinometri* — consistenti essenzialmente in termometri esposti a ricevere i raggi solari e protetti contro ogni azione dell'ambiente la quale ne perturbi irregolarmente l'andamento — primo il De-Saussure — *Voyage dans les Alpes*, 1803 — ed in seguito l'Herschel, il Pouillet, il Forbes, il Waterston, il Secchi, segnatamente il Crova. — «*Mésure, de l'intensité calorifique des radiations solaires et de leur absorption par l'atmosphère terrestre*» in *Journ. de Phys.*, a. 1876, pag. 361 a 366 — il Violle — «*De la température du Soleil*» pure in *Journ. de Pyhs.*, stesso volume, pag. 169 a 179 — il Rossetti, con la pila termoelettrica — «Sulla temperatura del Sole» in *Mem. della Soc. degli Spettroscopisti Italiani*, a. 1878, Vol. VII —; nel 1881 il Langley sotto il cielo purissimo delle alte montagne della California — *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, a. 1882, T. XCV, p. 483 — il Rizzo — «Misure attinometriche del calore solare eseguite sulle Alpi» in *Nuovo Cimento*, a. 1898, T. VII — ed il Bartoli con lo Stracciati — «Misure del calore solare eseguite in Italia dopo il 1885», pure in *Nuovo Cimento*, a. 1891, T. XXIX; «Mis. actinometr. sul raffredd. nott. eseg. sull'Etna», in *Boll. Acc. Gioenia*, dic. 1890; «Form. empir. pel cal. sol.» in *Atti Acc. Gioenia*, T. IV; «Di alc. rec. mis. calorim. ed in partic. della mis. del cal. sol.», *Pavia tip. Bizzoni*, 1894; «Sulla trasmissib. delle radiaz. sol. attr. l'atmosf. carica di ceneri vulc. nell'eruz. dell'Etna del 1892» in *Atti dell'Acc. Gioen.*, T. VII, 1894; «Sull'assorb. delle rad. sol. dalla nebb. e dai cirri» *R. Ist. Lomb. di Sc. e Lett.* T. XXVII, fasc. XV, 1894; e «Mis. pireliometr. eseg. dur. l'ecl. del 16 apr. 1893» in *Atti dell'Acc. Gioen.*, T. VII, 1894. Ed ancora sarebbero ad aggiungersi i lavori dell'Angström con i suoi pereliometri — differenziale, registratore e compensatore — e quelli del Chwolson — con istrumenti di cui tolse l'idea da quelli dell'Angström —; e poi quelli del Colley a Mosca, del Savelief a Kiew, dell'Hansky al Monte Bianco.

Dagli studi accennati risultarono dati assai diversi circa la quantità del calore inviato dal sole alla terra.

Così la *costante solare* — quantità del calore solare ricevuto in un minuto da un centimetro quadro di superficie terrestre normalmente esposto — che il Pouillet valutava in 1,7 piccole calorie, si elevava col Soret, col Crova,

col Violle, col Rizzo a numeri compresi tra 2 e 2,5 e col Langley a quasi 3, col Bartoli a 3,2. Anzi il Crova — « *La Constante Solaire* », Rapporto fatto al Congresso Internazionale di Fisica tenuto a Parigi nel 1900 — non dubitava di dire « qu' il n'est pas téméraire de penser que, dans de meilleurs conditions, nous aurions pu atteindre et peut-être dépasser 4 cal. ».

Questa quantità di calore potrà apparire assai piccola. Eppure è prodigiosa. Gli è che essa deve essere moltiplicata per il numero enorme esprimente in centimetri quadrati l'area del circolo massimo della terra. « Si la quantité totale de chaleur — scriveva il Pouillet, *Op. cit.*, T. II, pag. 682 — « que la terre reçoit du soleil, dans le cours d'une année, était uniformement repartie sur tous les points du globe, et qu' elle y fût employée, sans perte aucune, á fondre de la glace, elle serait capable de fondre une couche de glace qui envelopperait la terre entière, et qui aurait une épaisseur de 30 m, 80, ou prés de 31 m. »; ed il Faye — « *Sur la formation de l'Univers et du Monde Solaire* » in *Ann. du Bur. des Long.* per il 1885, pag. 763 — assumendo i risultati delle misure del Crova e del Violle, faceva rilevare come cotesta quantità del calore, che il sole continuamente invia alla Terra, corrisponda ad una potenza di 300·000·000·000·000 di cavalli dinamici, cifra che, dopo le misure tanto attendibili del Langley deve essere aumentata di un quarto, ossia portata a 375 milioni di milioni.

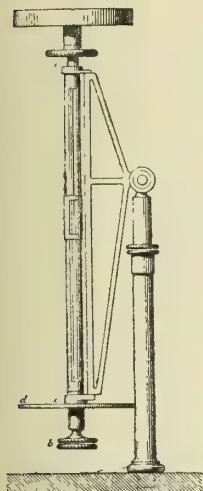
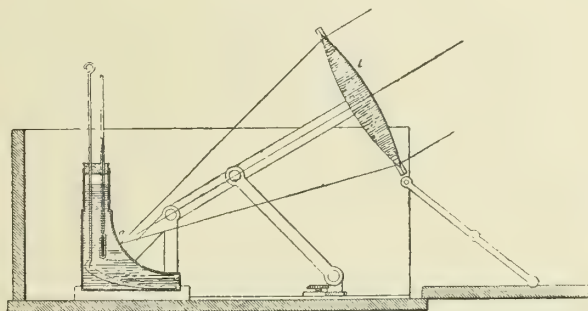



Fig. 1. Fig. 2.

I *pireliometri* del Pouillet.

Riprod. della fig. 375 e 376, Tav. II, degli ***Élem. de Phys. Exp. et de Météor.*** del Pouillet, T. II, 5ª ediz., Parigi, Bechet-Jeune, 1847.

Legg. espl. — Fig. 1. *Pireliometro diretto*: *v* vaso sottiliss. in argento del diam. di 1 decim. e dell'altezza di 14 a 15 millim.: cont. circa 100 gr. di acqua; *c c* colletti in cui è fiss. il termom., il bulbo del quale si trova al centro del vaso; *b* bottone con cui si può far girare tutto l'app. int. all'asse del termom. ed agit. l'acqua perchè la sua temp. sia unif.; *d* disco che ric. l'ombra del vaso e serve ad orient. l'app.; la sup. del vaso che ric. i raggi solari è accur. ricop. di nerofumo (1).

Fig. 2. — *Pireliometro a lente*: *a* vaso d'arg. conten. circa 600 gr. di acqua; *l* lente di 24 a 25 cm. di diam e 60 a 70 cm. di dist. focale, al cui fuoco si trova *a*; la posiz. della lente e la forma del vaso sono comb. in modo che, qual. sia l'alt. del sole, i raggi cad. perpend. su la lente e su la sup. del vaso. Era destin. ad esp. in aria non calma; la grande massa dell'acqua fa sì che il vento, quando non sia forte, non ha che un'infl. minima nel raffredd. dur. cinque minuti quella massa d'acqua.

Questa enorme potenza è quella che il sole largisce al nostro pianeta. Ma che è dessa mai al confronto di quella che il sole irradia tutt' intorno a sè? Il Faye — *l. c.* p. 765 — sempre partendo dai valori del Crova e del Violle, la calcola in 113·344·000·000·000·000·000·000 grandi calorie per se-

(1) « L'expérience » citiamo testualmente il Pouillet « se fait de la manière suivante; l'eau du vase étant à peu près à la température ambiante, on tient le pyrhéliomètre à l' ombre, mais très-près du lieu, ou il doit recevoir le soleil; on le dispose de manière à ce qu' il voie la même étendue du ciel, et là, pendant quatre minutes, on note de minute en minute son réchauffement ou son refroidissement; pendant la minute suivante, on le place derrière un écran, et on l'oriente de telle sorte qu' en ôtant l'écran à la fin de cette minute, qui sera la cinquième, les rayons solaires le frappent perpendiculairement. Alors, pendant cinq minutes, sous l'action du soleil, on note de minute en minute son réchauffement, qui devient très-rapide, et l'on a soin de maintenir l'eau sans cesse en agitation; à la fin de la cinquième minute, on remet l'écran, on retire l'appareil dans le première position, et pendant cinq minutes on observe son refroidissement » Con una formula, poi, il Pouillet deduceva, dagli elementi osservati, la quantità di calore ricevuta da un centimetro quadrato in un minuto.

condo. Per un anno risulterebbe 86400×365,24 volte maggiore, il che darebbe 3577 seguito da 27 zeri.

Aumentando nella ragione voluta dai risultati del Langley e trasformando in lavoro, si ottiene un numero di chilogrammetri che è all'incirca l'unità seguita da 33 zeri!

Era ben naturale che la considerazione di cotesta smisurata potenza facesse porre dei quesiti. Quale è la temperatura del sole? Quale l'origine di cotesta energia? È dessa costante? E, nel caso affermativo, come può essa conservarsi? Su la temperatura del sole la storia registra una curiosa evoluzione e delle oscillazioni, curiose non meno. « Le grand Herschel, qui avait embrassé le ciel entier dans ses observations et dont les opinions étaient presque regardées comme l'expression de la Science elle-même » diceva il Janssen nel suo splendido discorso su *L'age des étoiles* letto nella seduta pubblica delle cinque Accademie di Parigi il 25 ottobre 1887 — « croyait le Soleil habité. Arago, qui lui succeda comme autorité en Astronomie physique, le croyait habitable ».

Evidentemente nè Herschel nè Arago reputavano molto alta la temperatura del sole. Ma quando la costituzione del nostro grande luminare cominciò ad apparire sotto un aspetto ritraente del vero, si saltò di colpo a temperature di parecchi milioni di gradi — J. Herschel, ed in seguito il Waterston e l'Ericsson — per discendere a temperature come 120.000° — ultimi risultati del P. Secchi — 126.000° col Soret; 133.000° con Lord Kelvin; 10.000° col Rossetti, e per discendere di molto ancora col Langley; e più — 2.500°, assai probabilmente meno lontano dal vero — col Violle, e risalire con Wilson e Gray — 1896 — a 8000° e ancora più — 40.000° — con l'Ebert.

Cotesti numeri — la cui disparità dipende dalle enormi difficoltà e cause di errore provenienti dal dover partire da dati sperimentali dedotti da piccole quantità, e, più ancora, dall'ignoranza di talune leggi fisiche riguardanti l'irraggiamento — mostrano come incerte siano oggi le cognizioni su la temperatura del sole.

Nè sono più sicure quelle su l'origine e su la conservazione dell'energia solare.

Certo nessuno oserebbe oggi mettere fuori la prima ipotesi che il Sole sia un corpo fornito di tale quantità di calore che dal principio delle epoche storiche sia stato impossibile avvertire un raffreddamento, o l'altra che esso sia un focolare di materie in combustione. « Supponendo — scrive il Jamin — che il Sole abbia una capacità calorifica uguale a quella dell'acqua ed una conduttività perfetta, si sarebbe raffreddato di 8300 gradi negli ultimi cinque anni: gli uomini avrebbero dovuto accorgersene...... Se esso fosse tutto composto di carbon fossile, bruciante con la rapidità necessaria per dare la stessa quantità di calore, si sarebbe estinto dopo cinque secoli ».

Inammissibile, per quanto ingegnosa, l'ipotesi del Mayer che il calore solare sia mantenuto dalla caduta di corpuscoli, la forza viva dei quali si trasformerebbe in calore: inammissibile, perchè, come risulta dai calcoli di Lord Kelvin, in dipendenza da cotesto aumento delle masse diminuirebbe — di un'ora in cinquantatrè anni — la velocità di rotazione del grande astro, effetto, per la misura in cui si avrebbe, facile ad osservarsi, e per il quale cotesta velocità dovrebbe a quest'ora essere ridotta a zero.

La sola ipotesi che, nello stato attuale delle nostre cognizioni, presenti attendibilità è quella dell' Helmholtz — « *Mèmoire sur la conservation de la force* » — originata, assai probabilmente dal discorso del Kelvin alla riunione della *British Association* a Manchester nel 1861.

Secondo l'Helmholtz il calore solare proverrebbe dalla condensazione della materia costituente originariamente la nebulosa, da cui — giusta l'ipotesi del Laplace — avrebbe avuto origine il nostro sistema planetario.

Forse anche si appone al vero il Faye ritenendo che nell'interno del Sole la materia sia dissociata, e che solo alla superficie, al limite esterno della fotosfera — ove le condizioni di temperatura lo consentirebbero — avvengano le combinazioni chimiche, accompagnate da svolgimento di enormi quantità di calore. Ciò varrebbe anche a spiegare come — diremo ancora col Jamin — « malgrado la quantità prodigiosa di energia potenziale contenuta nella massa del Sole, la temperatura media reale di esso possa non essere eccessivamente elevata, per esempio non oltrepassare di molto il limite di quelle che noi sappiamo produrre e misurare ».

L'*attinometro* del Crova.
Ripr. della fig. 1 a p. 361 del *Journ. de Phys.*, anno 1876, monog. orig. del Crova cit. nel testo (1).

Qualunque sia il risultato di cotesti studi su la temperatura del Sole, su le origini ed il modo di conservazione del calore solare, essi costituiscono pur sempre una delle parti più seducenti degli studi fisici e matematici compiuti nel secolo XIX, poichè all'oggetto di essi si riattacca la vita nel nostro globo. È soprattutto dal calore che la terra riceve dal sole che dipendono le meteore nelle loro diverse alternative alla superficie dei continenti e dei mari. « Ce sont les régions suréchauffées qui servent de foyer d'appel pour mettre en mouvement tout le système des courants atmosphériques; ce sont elles également qui livrent aux vents de l' éspace l'humidité destinée á se disperser en nuages et á retomber plus loin en neiges et en pluies. Par leur action sur la terre et sur les eaux, les rayons du soleil donnent la première impulsion á tout ce qui se meut á la surface du globe: c'est de l'astre lumineux que dépend la vie de nôtre planéte » (2).

(1) « Cet instrument » così il Crova « se compose d'un gros thermomètre à alcool absolu dont le réservoir sphérique a 40 millimètres environ de diamètre, et la tige 300 millimètres environ de longueur. La surface du réservoir est préalablement argentée par le procédé de M. Martin, afin de la métaliser, puis recouverte d'une mince couche de cuivre rugueux et de noir de platine. L'extrémité du tube est munie d'une ampoule en partie pleine d'alcool absolu. Le réservoir contient quelques gouttes de mercure; en renversant l'appareil, le réservoir en haut, et en l'exposant au soleil, on engage dans le tube eapillaire un index de mercure aussi long que l'on voudra: en relevant le tube, l'excédant de mercure retombe dans la boule, et l'instrument est prêt à être observé . . . . . La boule de ce thermomètre est située au centre d'une enceinte sphérique en laiton de 10 centimètres environ de diamètre, polie à l'extérieur, noircie en dedans et munie en face de la boule, sur le prolongement de l'axe du tube, d'un cylindre de bois qui porte deux écrans parallèles en plaqué d'argent bien polis, munis d'une ouverture circulaire de 30 millimètres de diamètre. Cette disposition permet de régulariser le refroidissement de l'instrument, et d'observer avec exactitude, même dans un air agité . . . . . L'axe de l'instrument est orienté vers le centre du soleil; pour cela, l'enceinte sphérique de laiton est montée sur une boule de métal mobile dans tous les sens entre les deux coquilles d'une presse à vis portée par un pied à trois branches; l'extremité du tube porte un écran noir d'un diamètre légèrement supérieur à celui des écrans qui limitent le faisceau de rayons solaires et sur lequel on centre l'ombre qu' ils projettent.

Le rechauffement pendant une minute d'exposition au soleil doit être augmenté de la moyenne des refroidissements observés à l'ombre en une minute avant et après l'observation au soleil . . . . . . »

(2) Réclus, *La Terre*, Paris, Hachette, IV ediz , Vol. II, p 460.

*
* *

Fu detto — Rumford, « *Mém. sur la chal.* » letto alla sed. pubbl. dell'*Institut National*, di Francia, il 6 messidoro anno XII (25 giugno 1804) — che « un phénomene (*sic*) trés-remarquable, et qui a dû être observé aussitôt que les hommes ont eu connaissance du feu, c' est *le rayonnement* des corps solides, aussitôt qu'ils devienneut très-chauds ».

L' osservazione è giusta. Anche negli studi su la propagazione del calore — parliamo di studi, non di osservazioni semplici e superficiali — quelli su l' irraggiamento precedettero cronologicamente gli altri su le rimanenti forme di trasmissione — la *conduzione* e la *convessione* —.La legge del Newton sul raffreddamento (1) — accennata a pag. 175 — data fino dal 1701; di più — Chappuis et Berget, *Leçons de Physique Générale*, Paris, Gauthier Villars, 1891, T. I, pag. 403 — ne aveva dato conferme sperimentali il Richman; ed il Martine, con esperienze rimontanti al 1740, aveva stabilito che essa non era applicabile se non per differenze di temperatura non eccedenti i 40° o 50°; e, aggiungeremo noi qui, sempre prima del secolo XIX, nell'estate del 1785 (2) il Rumford aveva scoperto e dimostrato con evidenza indiscutibile che « la chaleur pouvait être propagée ou excitée à travers le vide de Torricelli. »

Parleremo quindi anzitutto dell'irraggiamento, del quale più di un fisico dei primi anni del secolo aveva intuito tutta l' importanza. Qualche lavoro

(1) « Il raffreddamento di un corpo avviene per modo che in tempi crescenti in progressione aritmetica, gli eccessi della sua temperatura su quella dell'ambiente decrescono in progressione geometrica ».

(2) « *Notice historique* » in Rumford, « *Mémoires sur la Chaleur* », Paris, Didot, 1804.

Ecco in qual modo il Rumford descrive, in quella *Notice historique* la costruzione dell'apparecchio di cui si valse e le prime esperienze: « Un ouvrier habile', *Arteria*, de Manheim, ayant réussi á fixer solidement la boule spérique (*sic*) d'un thermometre (*sic*) à mercure, d'un demi-pouce en diametre, au centre d'une autre boule (de verre) d' un pouce et demi de diametre, on remplit de mercure l' espace compris entre la surface extérieure de la boule du thermometre, et la surface intérieure de la grande boule, par le moyen d'un long tube barométrique qui fut soudé á une petite projection ou ouverture en forme de pointe, appartenant à la grande boule, laquelle pointe se trouvait en bas quand le thermometre qui était attaché à la grande boule se trouvait dans sa position naturelle verticale.

Aussitôt que l'espace dans la grande boule, qui n'était point occupé par le thermometre, eut été rempli de mercure, aussi bien que le tube barométrique, soudé á la boule, qui avait trente-six pouces de long, l'extrémité de ce tube fut submergée dans du mercure contenu dans un bassin, et le tube fut renversé et placé dans une position verticale, avec la grande boule (contenant le thermometre) en haut.

L'instrument étant alors devenu un barometre, le mercure descendit de la grande boule et de la partie supérieure du tube barométrique, jusqú à la hauteur de ving-huit pouces audessus du niveau de la surface du mercure dans le bassin, où il demeura stationnaire...; pour lors on approcha une bougie allumée à la partie supérieure du tube, prés de sa jonction avec la boule, où le diamètre du tube avait été préalablement diminué, et par le moyen d'un chalumeau, on dirigea la pointe de la flamme contre la partie du tube où on voulut le sceller.

Le verre etant ramolli par la chaleur, la pression de l'atmosphere (*sic*) ne tarda pas à forcer les parois du tube en dedans, et l'operation fut heureusement terminée sans accident.

On détacha ensuite le tube barométrique, et la boule du thermometre resta.... entourée de tous les côtés par un espace vide d'air; et le thermometre ayant été rempli préalablement de mercure, et fourni d'une échelle, on peut facilement se figurer mon impatience à voir si la chaleur serait en état ou non de franchir cet intervalle.

Ayant exposé cet appareil dans un baquet d'eau à la température de 18° du thermometre de Réaumur, jusqú à ce que je fusse assuré (par le moyen de l'échelle de l'instrument) que la boule du thermometre, remplie de mercure, qui se trouvait au centre de la boule vide d'air, était à la température de 18° R, j'ôtai l'instrument du baquet et je le plongeai dans un vase rempli d' eau bouillante, où je le tins plusieurs minutes; l' eau dans le vase étant constamment entretenue en ébullition par le moyen d'une lampe. Comme le mercure,

di quell'epoca porta, è vero, l'impronta di una certa confusione d'idee e di troppa ingenuità nell'esperimentare.

Potrebbe offrirne esempi la scienza inglese, e ne offre l'italiana: ricordiamo il « *Mémoire sur la infl. de la direct. dans la prop. du calorique* » letto dal De-Sanctis alla *Soc. Philomathique* il 5 e 19 giugno 1811 — rip. nel *Journ. de Phys.* del Delamétherie, stesso anno, T. LXXII, pag. 127 a 137 — in cui Bartolomeo De Sanctis dà conto di esperienze eseguite a Roma, e dice cose come questa: la direzione discendente è più favorevole al calorico raggiante che l'ascendente.

Però appartengono a quell'epoca dei lavori che, come quelli sperimentali del Leslie e quelli matematici del Fourier, hanno conservato ancora al presente tutta la loro importanza scientifica; la quale poi, per quelli del Fourier — a motivo della generalità dei principî e dei metodi, e della profondità della trattazione — è tuttora di primissimo ordine.

Fig. 1. Fig. 2.

L'*attinometro* del Violle

Riprod. delle fig. 1 a pag. 169 e 2 a pag. 178 del *Journ. de Phys.*, a 1876, monog. orig. del Violle cit. nel testo.

Legg. espl. — Fig. 1 Term. a quinti di grado, col bulbo di diam. di 5 a 15 mm. sec. i casi, ricop. di nerofumo come la vicina strozzatura. Il bulbo stesso è posto al centro di un inviluppo sfer. in rame, ricop. intern. di nerofumo e mant. a temp. cost. med. acqua circolante nella cavità compr. tra la par. est. del detto inviluppo ed un'altra cav. sfer. concentr., pure in rame: la detta intercaped. può essere invece riemp. di ghiaccio pesto, ehe si introd. per *O*; *D* diafr. ad apert. di grand. variab. per la quale penetr. i raggi solari; *g* vetro smerigliato, legg. anner. sul quale si proietta l'ombra del bulbo, potendosi così regolare le posiz. del bulbo stesso, in modo che sia al centro dell'inviluppo interno; *M* specchio con sopporto articolato nel quale si rifl. l'ombra del termom. e che serve a mant. l'orientam. dell'apparecchio.

Fig. 2. — Disposiz. dell'attinom. per operare con inviluppo a temperature elevate, al fine di riconosc. se la temp. del Sole sia, o no, dello stesso ordine di quelle che si possono prod. su la Terra.

Lasciando questi lavori insigni — perchè già se ne disse nella *Introduzione*, pag. 18 e 19, mettiamo nel numero quelli di un grande fisico ginevrino, Pietro Prévost —

dans le tube du thermometre, montait, quoique lentement, il était évident que la chaleur de l'eau bouillante passait *à travers* le vide dans la boule du thermometre . . .

Aprés que l'instrument eut été une min. trente secondes dans l'eau bouillante, le mercure se trouva monté de 18° à 27°; à la fin de la quatrième minute, il était à $44\frac{9^{\circ}}{10}$, et à la fin de la cinquième minute il était à $48\frac{1^{\circ}}{5}$ . . . . . .

Je fis plusieurs autres expériences de ce genre, et avec des résultats semblables . . .

Le passage de la chaleur dans le vide était un fait d'une si haute importance dans la recherche de la chaleur, que je desirai le constater par des exspériences les plus décisives.

Comme la partie du tube du thermometre qui se trouvait dans l'intérieur de la grande boule de verre était en contact avec cette boule, et pendant que le reste du tube était en contact avec l'air, ou l'eau, dans laquelle l'appareil était exposé à se refroidir ou à s'échauffer, l'on pourrait supçonner qu'une partie de la cha-

« *Mém. sur la transmission du calorique à travers l'eau et d'autres substances* » in *Journ. de Phys.* del Delamétherie, T. LXXII, parte I,ª p. 168 a 186, anno 1811 — da cui furono provati dei fatti capitali, come quello della concentrazione al fuoco di una lente di ghiaccio — senza che questo fondesse — di una quantità di calore sufficiente ad accendere il legno, e l'altro del trasmettersi in quantità uguale il calore attraverso all'acqua, sia essa in moto od in quiete.

E del Prévost è pure quella legge su l'*equilibrio mobile* di temperatura, che egli deduceva da ipotesi errata su la natura del calore, ma che, mercè l'opera di geometri insigni — il Fourier, il Laplace, il Poisson — trovava posto nella teoria del calore (1).

Tale è pure l'altro del Delaroche « *Observations sur le calorique rayonnant* », letto all'*Institut* di Parigi il 3 giugno 1811 — pure in *Journ. de Phys.* del Delamétherie, a. 1812, T. LXXV, p. 201 a 228 — lavoro che rivela la grande modestia del fisico francese, (2) e le cui conclusioni sono veramente degne di nota, giacchè in alcune di esse si trovano — può dirsi — i germi di parte importante degli studi fatti in seguito sul calore raggiante (3).

Tale è specialmente la memoria « *Recherhes sur la mesure des températures et sur les loïs de communication de la chaleur* » di Dulong e Petit — già menzionata a pag. 181, nota seconda — in cui sono studi rimasti classici

leur que la boule du thermometre, entourée du vide, perdait, ou gagnait, était communiquée par le tube du thermometre: pour ôter toute incertitude à ce sujet, je trouvai le moyen de faire l'expérience avec un thermometre suspendu par un simple fil de soie, très mince, au milieu du vide (fait avec le mercure), dans un matras de verre qui était assez haut pour recevoir et enfermer le thermometre avec son tube.

Les résultats des experiences qui furent faites avec cet appareil, ne différaient pas sensiblement des resultats de celles faites avec les autres .... »

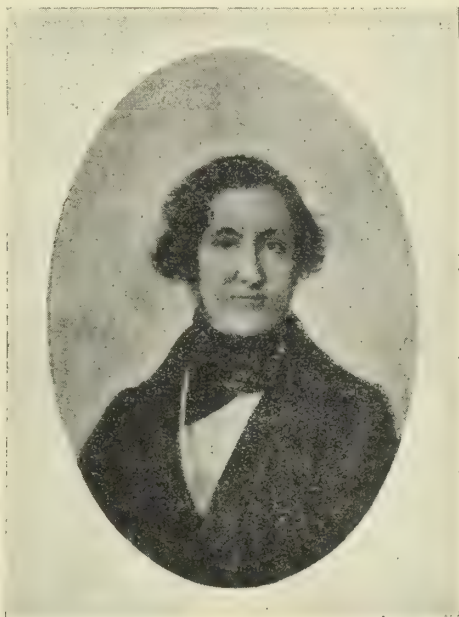
Abbiamo voluto riferire testualmente codeste pagine del Rumford — omettendo per brevità la parte in cui riferisce le determinazioni della rapidità relativa della propagazione del calore raggiante attraverso la vuoto ed all'aria, per la quale ultima si valeva dell'apparecchio sopra descritto, in cui spezzando l'appendice ove era stata fatta la saldatura al cannello, lasciava rientrare l'aria ad investire il bulbo termometrico — perchè oltre che si riferiscono ad un fatto di grande importanza, dimostrano — per i particolari in cui entra il grande fisico, risguardanti la costruzione dell'istrumento — come poco famigliari dovevano essere a quell'epoca certe nozioni fisiche le quali oggi invece lo sono anche a persone sfornite di una cultura speciale; e di più rispecchiano bene lo stato della costruzione degli apparecchi di fisica a quell'epoca.

(1) « L'ipotesi dell'equilibrio mobile » scriveva il Bartoli, *Nuovo Cimento*, a. 1879, p. 266 « come è ora generalmente accettata può enunciarsi così: ciascheduna parte della superficie di un corpo emette calore in tutte le direzioni possibili, qualunque siano la sua temperatura e le sue relazioni coi corpi coi quali ricambia calore; e una parte qualunque della superficie si trova in equilibrio di temperatura quando coi suoi ricambii di calore con gli altri corpi, emette ed assorbe nell' unità di tempo quantità di calore esattamente uguali ».

(2) Dice il Delaroche; « ... je puis me tromper sur les conclusions que j'en tire. Dans ce cas, je me empresserai de le reconnoître (*sic*), et cependant je ne croirai pas avoir perdu ma peine, si j'ai réussi à attirer sur un sujet aussi intéressant, l'attention de quelque physicien plus heureux que moi, ou plus en état de le traiter convenablement ».

(3) Le conclusioni del Delaroche sono che: 1° il calorico raggiante oscuro può in alcune circostanze attraversare immediatamente il vetro — contrariamente a qnanto aveva trovato il Leslie, e conformemente, invece, ai risultati del Prevost —; 2° la quantità di calorico raggiante che attraversa immediatamente il vetro è tanto maggiore rispetto alla totalità del calorico emesso, quanto più è elevata la temperatura della sorgente che lo emette; 3° i raggi calorifici che hanno già attraversato un diaframma di vetro, provano attraversando un secondo diaframma simile un disperdimento proporzionalmente molto meno considerevole che nel loro passaggio attraverso al primo; 4° i raggi emessi da uno stesso corpo caldo differiscono tra loro quanto alla loro facilità di attraversare il vetro; 5° un vetro spesso, quantunque altrettanto, e più, permeabile alla luce che un vetro sottile di qualità meno bella, lascia passare molto meno calorico raggiante: la differenza è tanto minore, quanto più è elevata la temperatura della sorgente; 6° la quantità di calore che un corpo caldo cede in un tempo dato per via di irraggiamento a un corpo freddo situato a distanza, cresce, a parità di tutte le altre circostanze, secondo una progressione più rapida che l'eccesso della temperatura del primo su quella del secondo.

su l'irraggiamento nel vuoto e nei gaz, e dai quali, col fare alla conduzione ed alla convessione la parte dovuta, risultò la legge del Newton semplicemente approssimata — tanto maggiormente quanto più piccole sono le differenze di temperatura. — Si fu, poi, discutendo acutamente coteste esperienze — ed altre posteriori del De la Prevostaye e Desains — che lo Stefan — *Sitzungsberichte* dell'Acc. delle Sc. di Vienna, 1880, p. 84 — stabilì la sua celebre legge (1) che allo Schleiermacher — *Wied. Ann.*, T. XXVI, p. 287 a 308 — parve in difetto, e che il Ferrel — *The. Am. Journ. of. Sc.*, a. 1889, T. XXXVIII, p. 3 a 29, e *Journ. de Phys.*, a. 1890, p. 525 — ritenne applicabile solo pur che si adottino coefficienti opportuni dipendenti dalla media delle temperature a cui si riferiscono le osservazioni; ma che il Boltzmann — *Wied. Ann.* T. XXII, p. 291 a 294 — elegantemente dimostrava potersi dedurre col calcolo dal secondo principio della termodinamica, e lo Schneebeli — *Ibid.* p. 430 a 438 — e Lummer e Pringsheim — *Stessi Annali*, 1897, T. LXIII, pag. 395 a 410 — operando in modo e condizioni diversissime, dimostravano sperimentalmente abbastanza prossima al vero.

Quanto alla natura del calore raggiante, il sommo del merito venne toccato una ventina di anni dopo gli studi di Dulong e Petit da Macedonio Melloni, anima ardente per la libertà (2) e fisico tra i più gloriosi del secolo XIX. Con lui, non solo il *potere emissivo* dei corpi, il loro *potere assorbente* e quello *riflettente* vennero analizzati e misurati sistematicamente e con metodi squisiti, ma lo furono pure il fatto fondamentale relativo alla diffusione e la polarizzazione; e per lui furono acquisiti alla scienza con la determinazione che essa esige i concetti di una varia natura dei raggi calorifici, e di una

Macedonio Melloni.

Riprod. del ritratto possed. dal cav. dott. Emilio Casa di Parma, e da lui cortes. prest. all'aut.

(1) « La intensità dell'irraggiamento di un corpo è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta ».

(2) Sarà letto con interesse quanto segue, che togliamo dal « I *moti rivoluzionari accaduti in Parma nel 1831* », del cav. dott. Emilio Casa, pubbl. in Parma dalla Tip. G. Ferrari e figli nel 1895 : « La prima voce che si udì in Parma ad inneggiare pubblicamente alla rivoluzione francese, fu quella del professore di fisica Macedonio Melloni, il quale, reduce allora da Parigi, dove era stato spettatore della cacciata di Carlo X, aveva piena la mente di quei casi e della parte che vi aveva presa la gioventù studiosa. — Venendo al cospetto dei proprî scolari di fisica, fece con caldissima parola l'apoteosi di quanti avevano a Parigi abbandonata l'Università per correre alle barricate e combattere — Infiammatevi, o giovani (disse egli) a quell'amore di patria, a quello sprezzo della vita, a quel glorioso esempio! »

Fu quella prolusione del Melloni la scintilla che provocò appunto i moti di Parma del 1831.

E pure con interesse saranno lette le righe seguenti che riproduciamo della stessa pregevolissima monografia, e che il ch. A. tolse da un diario di Cancelleria di quella Università: « (1830, 15 novembre). Il signor Macedonio Melloni, professore di fisica, ha aperto oggi alle 10 di mattina, le proprie lezioni con una prolusione, sul terminare della quale si è lasciato trascorrere a frasi liberali, e ad allusioni politiche sì ardite da esaltare fuor di modo gli animi della gioventù, e da incorrere altamente nella Sovrana disapprovazione — (id. idem).

tale analogia tra essi ed i luminosi che il Melloni poteva — per le misure fatte — introdurre le parole di *diatermasia* — ad indicare la proprietà dei corpi risguardante il calore raggiante analoga alla diafaneità o trasparenza per i raggi luminosi — e di *termocrosi*, o colorazione dei raggi termici, a dinotare un complesso di fatti analoghi a quelli della luce di cui sono rivelatori all' occhio il prisma ed i colori dei corpi. Le esperienze del Melloni sono descritte in tutti i trattati di fisica, onde non istaremo a ripeterle qui — cosa impossibile anche per la loro molteplicità e varietà (1). Ricorderemo solo come egli si valesse del *termomoltiplicatore* — già menzionato a pag. 200 e 201 — e del *banco*, rimasto tra gli istrumenti classici tuttora in uso e presentato all'*Académie d. Sc.* il 12 gennaio 1835 con una memoria in cui riferiva risultati di esperienze sul confronto di sorgenti di calore, su la trasmissione immediata, su la rifrazione, su la riflessione, su l'irraggiamento verso corpi lontani, sul potere emissivo e su l'assorbente, e su l' influenza della trasmissione sul potere assorbente. Noteremo piuttosto come dagli studi su gli argomenti accennati sopra, a cui sono da aggiungersi la dimostrazione e lo studio della polarizzazione dei raggi calorifici, usci — per la identità delle leggi relative alla propagazione e per quella del modo di essere e di comportarsi — così limpido il concetto della identità di natura tra la luce ed il calore raggiante, che — riferendosi anche a studi relativi all'elettricità, di cui si dirà a suo luogo — già nel 1838 il Becquerel, in un discorso — « *Précis de nouvelles recherches sur le dégagement de la chaleur dans le frottement* » — letto

— Per disposizione di Sua Maestà ed in conseguenza dell'impressione con cui è stata ricevuta a Corte la notizia del predetto discorso, rimane *espressamente vietato ai professori di leggere qualunque prolusione, o qualsiasi orazione, tanto per l'apertura delle scuole, quanto per altre circostanze.*

(16 novembre) — Il professore Melloni è destituito; il Presidente dell' Università ed il Cancelliere sono rimproverati per non aver prima presa cognizione del discorso che andava a leggersi dal professore, e per non avere assistito alla lettura del medesimo.

(13 dicembre) La destituzione del professore di fisica ha cagionato gravi inquietudini, adunanze tumultuose di giovani chiedenti la ripristinazione del professore, lamenti di lui contro il Governo che il destituì e contro i Capi della Università che non lo impedirono; vociferazioni contro il Cancelliere, ecc.; indisposizione di tutta la scolaresca contro un giovane, Gaetano Vignali, dottore in matematica e in fisica proposto a supplente; affissi minacciosi e sediziosi sul portone dell'Università; cose tutte funeste agli studi, e di cui si vedranno nel 1831 le ancor più funeste conseguenze ». — Evidentemente l'estensore sentiva « odore di polvere ».

Del Melloni, come uomo politico, — è doveroso il notarlo — il d. Casa, che ne fu amicissimo, scrive — pag. 27 — con imparzialità che altamente lo onora: « Melloni era persona che in politica aveva più apparenza che sostanza; s'accendeva e s'esaltava facilmente, ma il suo fuoco si smorzava presto; delle cose del mondo vivo, sapeva quel tanto che poteva discernere a traverso la mole degli studi in cui diuturnamente era assorto ».

(1) Diamo l' elenco dei lavori più importanti del Melloni relativamente al calore raggiante, indicando per tutti il tomo degli *Annales de Chim. et de Phys.* in cui sono riportati:

« *Mém sur la Transm. libre de la Chal. ray. par diff. Corps sol. et liq.* » a. 1833, T. LIII, pag 5 a 73

« *Nouv. rech. sur la Transm. immédiate de la Chal. ray. par diff. corps solides et liq.* » a. 1833, T. LV, p. 337 a 397.

« *Note sur la Réflexion de la Chal. ray.* », a. 1835 T. LX, pag. 402 a 409.

« *Observ. et exp. relatives à la Théorie de l'ident. des Agens qui prod. la Lum. et la Chal. ray.* » a. 1835, T. LX, pag. 418 a 426.

« *Mém. sur la Polarisation de la Chal.* » a. 1836, T. LXI, p. 375 a 410, e a. 1837, T. LXV, p. 5 a 68.

« *De la prétendue Infl. que les Aspérités et le Poli des Surf. exercent sur le pouv. Émissif des corps.* » a. 1839, T. LXX, p. 435 a 444.

« *Considerations et Exp. sur la Diathermansie, ou Coloration calorifique des Corps* » a. 1839, T. LXXII, p. 40 a 67.

« *Mém. sur la constance de l'absorption calorifique exercée par le noir de fumée et par les métaux, et sur l'exist. d'un* pouvoir diffusif *qui, par ses variations, change la valeur du pouv. abs. chez les autres corps athermanes* » a. 1840 T. LXXV, p. 337 a 388.

« *Sur la cause des diff. que l'on obs. entre les pouv. absorb. des lames mét. polies et rayées, et sur ses applic. au perfectionnement des réflecteurs calorifiques* » a. 1841, T. I, p. 361 a 367.

nella seduta del 13 agosto di quell'anno all'*Ac. d. Sc.*, poteva dire: « Nous voyons que les rapports qui lient ensemble la lumière, la chaleur et l'électricité, prennent de jour en jour une nouvelle extension, et nous montrent que ces trois agents qui président à la constitution moléculaire des corps, dérivent, suivant toutes les apparences, d'un seul principe, de nature éthérée, répandu dans l'éspace et dans tous les corps ». Il concetto dell'unità delle forze fisiche aveva fatto col Melloni un passo da gigante.

Vero è che qualche causa d'errore, così da esserne reso meno esatto qualche risultato relativo al potere emissivo, fu segnalata da due fisici eminenti a cui la scienza deve belle ed accurate determinazioni su molti punti della termologia, vogliamo dire il De la Prevostaye e il Desains. Ma le loro giuste osservazioni — seconda memoria « *sur le rayonnement de la chaleur* » in *Ann. de Ch. et de Phys.*, 3ª serie, T. XXII, p. 358 — non tolgono nulla alla grandezza dell'opera del Melloni dal punto di vista filosofico e nemmeno da quello sperimentale.

Piuttosto non sarà a tacersi come il Melloni dovesse dolersi (1) perchè scienziati eminenti, quali il Despretz e il Péclet, nei loro trattati avevano riferito inesattamente su alcune delle di lui esperienze.

Dopo il Melloni, è facile immaginarlo, molti e molti furono i lavori sul calore raggiante.

Oltre il De la Prevostaye e il Desains già nominati, se ne occupò il Ritchie — « *Gleichheit d. Wärmestrahlen u. Wärmeabsorption einer Fläche* », in *Pogg. Ann.* T. XXVIII, p. 378 — confermando la identità del potere emissivo e dell'assorbente rispetto a quello del nerofumo, già provata dal Melloni: ed il Tyndall — *Philosoph. Magazine*, serie4ª, T. XXXII — rettificava erronee asserzioni di Masson e Courteépée, i quali — *C. R.* T. XXV pag. 936, e XXVII p. 532 — avendo fissato con colla su lamine metalliche dei precipitati chimici molto differenti, avevano creduto di riscontrare la identità dei loro poteri assorbenti con quello del nerofumo; faceva eleganti esperienze — *Journ. de Phys.*, a. 1872, p. 101 — su la rotazione del piano di polarizzazione; studiava — *Nature*, 17 febbr. 1881 — l'azione sui gaz di un fascio intermittente di calore, e — *Journ. de Phys.*, a. 1881, p. 185 — la diatermaneità dell'aria.

Il Magnus, di cui — pag. 182 — già segnalammo in altro campo im-

(1) Nella quarta edizione del suo trattato elementare di fisica, il Despretz aveva presentato le esperienze del Melloni come semplici conferme di quelle del Forbes. Ora, tra altro, il Forbes — *Trans of the R. Soc. of Edinburgh*, T. XIII, parte 1, pag. 152 — supponeva, diremo col Melloni — « *Réclamation contre la manière inexacte, ecc.* » in *Bibl. Univ.* di Ginevra, Nuova serie, T. XIV, a. 1838, p. 168 a 171 — « de telles différences » nella intensità della polarizzazione delle varie specie di raggi calorifici « que la polarisation produite dans les mêmes circonstances changerait de six a sept fois sa propre valeur avec la qualité de la chaleur employée » ; ed anche quando, — « *Researches on Heat, second series* » *ibid.* parte 2ª — ne ridusse considerevolmente il valore, differenze le ammetteva pur sempre. Il Melloni invece — *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, T. II, primo semestre, pag. 95 e 140 — aveva detto molto chiaramente l'opposto, e cioè che « toutes les éspèces de rayons calorifiques se polarisent également en traversant une pile de lames parallèles placées sous une inclination déterminée ».

Del Pèclet poi si doleva perchè « nell'ultima edizione » — 1838 — del suo trattato aveva aggiunto un articolo in cui ripeteva quanto aveva scritto il Despretz Di più vi diceva che il Melloni aveva dapprincipio messo in dubbio col Nobili e col Powell gli antichi risultati avuti dal Bérard su la polarizzazione prodotta mediante riflessione. Ora « Mm. Powell et Lloyd » — scrive il Melloni, *l. c.*, pag. 171 — « répétèrent separément et sans aucun succès l'expérience de Bérard en Angleterre, et Nobili fit aussi quelques tentatives inutiles pour polariser la chaleur par réflexion ».

portante di studi sul calore le benemerenze altissime, faceva pure del calore raggiante oggetto alla sua grande e sapiente operosità scientifica, toccandone pressoché tutti i lati.

Da un lavoro (1) infatti su la trasmissione attraverso all' aria umida, passava egli a considerare la diatermaneità dell'aria secca e della umida (2), e (3) della silvina — cloruro di potassio — nonchè (4) l' influenza della condensazione dei vapori nelle esperienze su cotesta proprietà; la polarizzazione e l'andamento a traverso a lamine parallele (5), come pure la polarizzazione a 100° (6); la emissione, l'assorbimento e la riflessione a basse temperature (7), occupandosi anche (8) in modo speciale del fatto tanto importante della riflessione; per finire col lavoro intorno alla influenza della asperità della superficie del corpo irradiante sul potere emissivo, del quale si era anche già occupato, dallo stesso punto di vista, in un' importante monografia antecedente (9) in cui aveva preso ad esame appunto la influenza che esercitano la levigatezza e la scabrosità della superficie da cui il calore viene irraggiato.

Segnaleremo anche i lavori del Knoblauch, svariati, geniali, importanti specialmente per tutto che ha attinenza alla termocrosi, alle interferenze, alla polarizzazione; copiosi tanto che ci è impossibile ormai perfino darne l'elenco particolareggiato (10), ma sui quali non possiamo però tacere come ne siano risultati fatti molto importanti dal punto di vista pratico e da quello filosofico.

Così relativamente al nerofumo, contrariamente all' opinione dei fisici, fu dimostrato come non assorba tutto il calore che gli arriva — ne diffonde all'incirca un decimo —: così furono dal Knoblauch messi in luce il fatto singolare che, mentre alcuni metalli — piombo, stagno, zinco, platino, ferro — diffondono ugualmente tutte le specie di raggi, altri — oro, argento, mercurio, rame, ottone — diffondono meglio i raggi calorifici che hanno attraversato un vetro giallo, e, mentre sono di colore luminoso tanto differente, possiedono identica colorazione calorifica; e l'altro che la composizione di un flusso calorifico misto è alterata in maniera molto svariata quando esso sia stato diffuso da una superficie.

Bellissimo studio pure da ricordarsi è quello del Rossetti — *Nuovo Ci-*

(1) « *Ueber den Durchgang d. strahl. Wärme durch feuchte Luft und über die hygroskopischen Eigenschaften d. Steinsalzes* » in *Pogg. Ann.* T. CXIV, p. 635.

(2) « *Diathermansie trockner u feucther Luft* » *Ibid.*, T. CXVIII, p. 575.

(3) « *Diathermansie d. Sylvins* », *Ibid.*, T. CXXXIV, p. 302.

(4) « *Einfluss d. Kondensation bei Versuchen über Diathermansie* » *Ibid.*, T. CXXI, p. 186.

(5) « *Ueb. d. Polarisation der ausgestrahlten Wärme u. ihren Durchgang durch parallele Platten* » *Ibid.* T. CXXVII, p. 600.

(6) « *Polarisation d. Wärme von 100° C. u. die Bevegung bei der Wärmeleitung* » *Ibid.* T. CXXXIV, p 45.

(7) « *Ueb Emission und Absorption der bei niederen Temperaturen ausgestrahlten Wärme* », e « *Emission, Absorption, u. Reflexion der bei nied Temperatur ausgestrahlten Wärmearten* » *Ibid.*, rispettiv. in T. CXXXVIII, p. 333 e T. CXXXIX p 431 e 582,

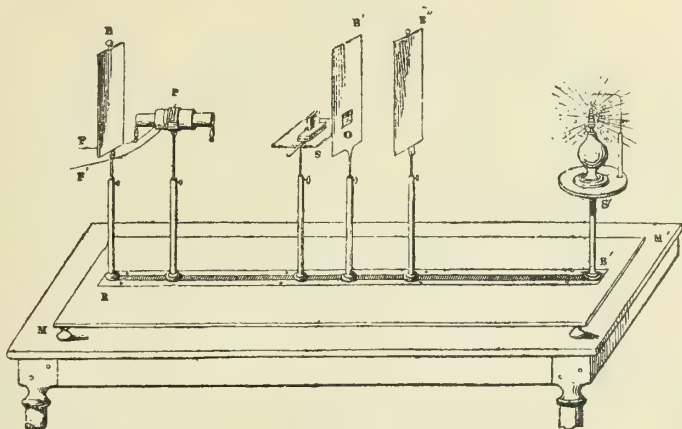
(8) « *Reflexion d. Wärme an der Oberfläche v. Flussspath und andern Körpern* » *Ibid* . T. CXXXVIII, p. 174.

(9) « *Verschiedenheit der Wärme welche rauhe u. glatte oberflachen ausstrahlen* » e « *Veränderung d. Wärmestrahlung durch Rauheit der Oberfläche* » *Ibid.*, risp. in T. CXXIV, p. 476 e T. CXL, p. 337.

(10) Sono tutti negli *Ann. der Physik u. Chemie*, tomi LXV, LXX, LXXI, LXXIV, LXXV, XCIII, CI, CVIII, CIX, CXX, CXXV, CXXVIII, CXXXI, CXXXVI, CXXXIX, CXLVI.

mento, 1880 p. 138 sui poteri emissivo ed assorbente delle fiamme; lavoro condotto con la squisitezza ed ingegnosità caratteristiche dell'insigne maestro, ed in seguito al quale egli dava una formola per calcolare il potere emissivo delle fiamme, e ne stabiliva la grande trasparenza per il calore ed il piccolo potere assorbente.

Nè — sebbene d'indole teorica — è da passarsi sotto silenzio l'elegante dimostrazione elementare — *Nuovo Cim.* 3.ª s.ᵉ T. VI, p. 265 — che « di un teorema del raggiamento dato dal prof. R. Clausius » aveva poco prima trovato il Bartoli, allora insegnante di Fisica nell'Istituto Tecnico di Firenze (1).

Dire poi di tutti i lavori compiutisi nell'ultimo quarto di secolo ci sarebbe anche qui impossibile, malgrado la importanza di molti e molti di essi, come quelli sul salgemma — col quale, per la sua grande *trasparenza* ai raggi calorifici il Melloni insegnò si avessero a fare prismi e lenti per lo studio del calore raggiante, dal che viene un interesse tutto speciale, agli studi su di esso — compiuti dall'Harrison — *Phil. Mag.* a. 1877, T. III, p. 424 —; dal Langley — *The Am. Journ. of Sc.*, 1885, T. XXX, p. 477 —; e dal Baur — *Wied. Ann.*, a. 1883, T. XIX, p. 17 — che trovava come esso, il più trasparente di tutti i corpi per i raggi calorifici, assorba invece più fortemente di ogni altro i raggi che esso stesso emette; o quelli del Macfarlane — *Proc. of the R. Soc.*, T. XX, p. 90 — su la legge del raffreddamento — di una sfera di rame levigata o coperta di nero fumo — nell'aria umida, ed i cui risultati, conformemente a quanto avevano trovato

Il *banco* del Melloni per esper. sul calore raggiante.

Riprod. della fig. a pag. 22 del period. *L'Institut*, T. III, a. 1835. Estr. della Mem. del Melloni letta all'*Acad. d. Sc.* il 12 genn. 1835.

L'app. fu costr. da Gourjon, sotto la direz. stessa del Melloni, per l'*École Polytechnique*. All'epoca in cui il Melloni presentava cot. app. il Gourjon ne stava già costruendo per la *Faculté des Sc.*, per l'*Éc. Norm.*, per il *Collège de France* ed altri Istituti pubblici.

Legg. espl. — *P* pila termoelettr. form. da 50 coppie antim.-bism. — v. fig. 5, pag. 205, e testo pag. 201 e seg. — av. la sez. di 2 cm q. e la lungh. da 27 a 28 mm., racchiusa in tubo a cerniera di lungh. da 3 a 4 volte magg.; *F*, *F'* fili di com. col galvanom., non rappresent. nella figura; *S'* sopporto per la sorg. di calore; *E'* schermo met. forato alla sua parte inf. per dar passaggio al fascio calorif.; dietro *E'* il sopp. *S* per il corpo sul quale si vol. sper.; *E''* dopp. sch. per intercett. il fascio calorif.; *E* schermo dest. a protegg. la faccia post. della pila dal calore ragg. prov. da altri corpi.

Come sorg. di cal. venivano us.; un liquido in eboll., una *lampada di Locatelli* — lamp. ad olio senza vetro — ed una lamp. ad alcole. Questa dava poi due sorg. div. di cal. med. una spirale in platino ed una lam. di rame anner. port. da due aste a squadra fiss. in un sopp. lat. La spir. avvolgeva la fiamma, mentre la lam. di rame la copr. solo alla p. ant.: con la prima si av. una sorg. incand. nella spir. arross.; con la sec. si av. una sorg. di cal. oscuro, di cui la temp. med. era di circa 400° cent.

(1) « È noto a tutti » così il Bartoli « come il secondo principio di termodinamica riposi su di un assioma introdotto nella scienza dal Clausius nel 1850; assioma che si suol enunciare brevemente: *Non può passare calore da un corpo più freddo ad uno più caldo senza che insieme si consumi lavoro.* La connessione di questo principio con la teoria generalmente ammessa del raggiamento, è tale che lo stesso Clausius ne ha dedotto essere necessario *che il potere emissivo di un corpo dipenda non solo dalla natura del corpo e dalla sua temperatura, ma ancora dalla qualità del mezzo in cui il corpo si trova; e che i poteri emissivi in differenti mezzi sono in ragione diretta dei quadrati degli indici di rifrazione di quei mezzi stessi* ».

È questo il teorema che il Bartoli molto felicemente dimostrava in modo elementare, provando poi ancora come la relazione contenutavi sia una conseguenza necessaria del 2.° principio di termodinamica.

oltre mezzo secolo prima Dulong e Petit, mostrano che le velocità del raffreddamento dipendono dallo stato della superficie per un coefficiente di proporzionalità; o gli altri del Potter — *Phil. Mag.*, a. 1895, T. XXXIX, p. 268 — che mettevano in evidenza quante cautele, dipendentemente dalla natura dell'ambiente, devonsi avere nel valutare la emissione totale; ed, infine, quelli del Pictet — *Archives* di Ginevra, a. 1894. T. XXXII, pp. 232, 465, 561 — su l'irraggiamento a basse temperature — tra 70° e 100° sotto zero — dai quali risultò che i raggi calorifici corrispondenti a quelle temperature attraversano corpi opachi a radiazioni corrispondenti a temperature più elevate, ed emersero fatti singolari, quale quello che uno dei migliori coibenti — il cotone, che noi usiamo appunto come coibente per il calore — pare mutarsi, in quelle condizioni, in un corpo perfettamente diatermano.

Non lasceremo tuttavia dal notare come l'indirizzo degli studi sul calore raggiante abbia avuto nell' ultimo periodo un orientamento verso questioni interessanti direttamente speciali applicazioni pratiche.

Così il Violle — *C. R. de l' Ac. des Sc.* 1879-1881, e *Journ. de Phys.*, a. 1883, p. 366 e a. 1888, p. 193 — sperimentava su la variazione dell'intensità delle diverse radiazioni semplici con la temperatura, su l'irradiazione dell' argento al punto di solidificazione e sul rapporto tra le energie totali emesse dal platino e dall' argento fondenti — la prima è 54 volte la seconda — per risolvere la questione della unità di misura della quantità di luce; questione di cui ognuno vede la portata pratica, ora che le misure su la quantità di luce, anche per la lotta tra i diversi sistemi d'illuminazione, non interessano soltanto la fisica pura.

In un campo rientrante nello stesso ordine pratico di questione lavoravano Ayrton e Kilgour — *Proc. of the R. Soc.*, a. 1891-92, T. L, p. 166, e *Phil. Trans.* a. 1892 — e l' Eumorfopulos — *Phil. Mag.*, a. 1895, T. XXXIX, p. 181 — indagando come varî il potere emissivo di fili al variare del diametro e della temperatura, e trovando, sia che esso è tanto maggiore quanto più alta è la temperatura, sia che l'aumento è tanto più rapido quanto più il filo è sottile — Ayrton e Kilgour operavano su fili aventi fino a 3 millesimi di millimetro di diametro —.

Il Pettinelli — « Su la variazione della diatermaneità del mica e del vetro con la temperatura » in *Nuovo Cimento*, a. 1895. T. II, p. 156 — misurava cotesta diatermaneità, riscontrando tra 26° e 100° invariata quella del mica, diminuita sensibilmente — dell'8 per cento — a 100° quella del vetro; ed il Saint John — *Wied. Ann.*, a. 1895, T. LVI, p. 433 — in relazione al becco Auer che ha acquistato tanta diffusione, determinava i poteri emissivi di varie sostanze che vi sono, o possono esservi, impiegate — magnesio, zirconio, lantano, terbio — giungendo alla conclusione importante per la pratica che per tutte le specie di radiazioni il potere emissivo del zirconio supera quello delle altre sostanze.

E, prima di lasciare l'argomento, ci sia concesso ancora il dire che una parte di cotesti studi si volse a problemi di alto interesse per la fisica del globo.

Citiamo il lavoro di A. G. Mayer — *The Amer. Journ. of Sc.*, a. 1893,

T. XLV, p. 340 — sul potere emissivo delle foglie, riscontrato vario nelle diverse specie; citiamo le misure dell'Haga — tesi sostenuta nel 1876 all'Università di Leida e dall'A. stesso riassunta in *Journ. de Phys.* a. 1877, p. 21 a 28 — sul potere assorbente del vapore acqueo, che esercita tanta influenza nella economia della natura, e su cui portava poco dippoi — *Wied. Ann.*, a. 1884, T. XXIII, p. 1 a 149, e 259 a 298 — la sua attenzione un grande fisico tedesco, il Röntgen, a proposito di una polemica tra il Magnus ed il Tyndall, mettendo fuori di dubbio come il vapore acqueo assorba il calore oscuro in quantità molto più considerevole che non facciano i gaz semplici — azoto, ossigeno, idrogeno —, e come, tra i componenti dell'atmosfera, la sola anidride carbonica abbia un potere assorbente paragonabile a quello del vapore acqueo.

Venendo ora a dire brevemente della *conduzione* — e lasciando da parte il procedimento ideato, per misurarla nei vari corpi, dal Franklin ed attuato dall' Ingen-Ousz, con quella cassetta di cui si leggono descrizioni ed uso su tutti i trattati, che viene tuttora usata, a scopo dimostrativo, nei corsi elementari, e che abbastanza recentemente l'Hesehus (1) disponeva in modo che la conduttività varia delle diverse sostanze potesse venire avvertita da un uditorio numeroso — ci si presenta ancora, al principio del secolo, la grande figura del Fourier.

Egli poneva su la matematica le basi dello studio della conduzione, e, con una idea molto geniale, riusciva ad eliminare la maggiore difficoltà che si oppone ad uno studio analitico della conduzione, la ignoranza, cioè, in cui era — ed è tuttora — la scienza su la natura speciale del moto che il riscaldamento provoca nelle molecole. Ammettendo (2) che una molecola si riscaldi quando ha assorbito una radiazione e possa allora, a sua volta, irraggiare intorno a sè attraverso agli spazi intermolecolari — nè più, nè meno che se si trattasse di masse materiali in presenza l'una dell'altra — riduceva la teoria della conduttività allo studio della trasmissione delle temperature: « la question de la propagation de la chaleur » scriveva egli « consiste à déterminer quelle est la température de chaque point d'un corps à un instant donné, en supposant que les températures initiales sont connues »

Senonchè, della conduzione, il Fourier faceva oggetto non solo di uno studio teorico, escogitando quei processi analitici i quali hanno tutt'oggi,

(1) L'apparecchio di Ingen Ousz, come è noto, consiste in una cassetta di lamiera metallica, in una delle pareti del'a quale, all'esterno, sono infisse orizzontalmente delle sbarrette eguali di diverse sostanze, ricoperte uniformemente di cera. Versando dell'acqua bollente nella cassetta, la cera in un medesimo tempo fonde, intorno alle varie sbarrette, tanto più e fino ad una distanza dalla cassetta tanto maggiore, quanto più è grande la conduttività. Per rendere sensibile cotesta varia conduttività, l' Hesehus — *Giorn. della Soc. Fis. Chim. Russa*, a. 1892, T XXIV, p. 153 a 155, riass in *Journ de Phys.*, a. 1893, p. 528 — dispose le sbarrette in modo che fossero fortemente inclinate all'orizzonte, e le munì di una sferetta di paraffina, resa pesante mediante una lastrina di rame: quando il riscaldarsi della sbarretta comincia a far fondere la paraffina, la sferetta discende, ed il fenomeno, per tal modo, è reso sensibile a distanza.

(2) *Mém. sur la Chal.*, *Théorie du Mouv. de la Chal. dans les corps solides*, nei *Mém de l'Ac. R. des Sc. de l'Inst. de France*, T. IV, pag. 185 a 555 e T. V, p. 153 a 246: la seconda parte però riguarda principalmente la questione delle temperature terrestri e la teoria del calore raggiante. Noteremo che cotesta insigne monografia, quantunque si trovi nei volumi indicati — pubblicati rispettivamente nel 1824 e 1826 — i quali riguarderebbero ordinatamente gli anni 1819 e 1820 per il primo, 1821 e 1822 per il secondo, era stata deposta negli archivi dell'Istituto in parte il 21 dicembre 1807, per il resto il 28 settembre 1811, ed era stata premiata nell'adunanza pubblica del 6 gennaio 1812.

ed avranno sempre, la più alta importanza per la loro fecondità, come già si ebbe agio di notare — pag. 19. — Egli — Cap. XIV della citata *Th. du mouv. de la Chal.* — aveva pure istituito « diverse esperienze » di confronto con i risultati della teoria; esperienze « faites avec beaucoup de soin, et souvent répétées » su un anello di ferro, delle quali il « nouveau degré de précision » da lui potuto conseguire « a fait reconnaître une conformité encore plus exacte entre les faits et la théorie »; e che rendono ben ragione di quanto — verità, a cui dà tanta autorità il nome del fisico ginevrino — scriveva P. Prévost — *Bibl. Univ.* di Ginevra, T. XV, p. 350, a. 1838 —: « En étudiant Fourier et ses principes . . . on se rend avec pleine confiance à ces solides raisonnements, fondés sur l'accord *demontré* des faits et de l'explication » (1). Molto più tardi, poi — 1828, seduta del 17 marzo — comunicava all'*Ac. d. Sc.* di Parigi altre ricerche sul potere conduttivo dei corpi sottili, per le quali aveva ideato quegli ingegnosi *termometrî di contatto*, di cui i trattati danno una disposizione ed una figura diverse dalle vere.

La importanza del conoscere cotesto potere conduttivo dei corpi non è solo teorica; essa, si riferisca alla propagazione attraverso una parete od a quella lungo una sbarra — si riferisca, cioè, al problema che venne detto *del muro,* od all'altro chiamato *della sbarra,* viene sempre a toccare anche dei fenomeni fisici riguardanti direttamente la vita e dei problemi economici:

Fig. 1. Fig. 2.

I *termometri di contatto* del Fourier.

Riprod. della Tav. a pag 291 del T. XXXVII, a 1828 degli *Ann. de Ch. et de Phys*, Mem. orig. del Fourier « *Rech. exp. sur la Faculté conductrice des corps minces soumis à l'action de la chal.; et Déscr. d'un nouveau Thermomètre de contact* ».

Legg. espl. — Fig. 1 Modello primitivo: *AA* vaso con un parete di lam. sott. di ferro e fondo *bbb* di pelle sottile, riemp. di mercurio; *D* sopporto mantenuto a temp. cost.; *CC* term. a merc. il cui bulbo si trova nel merc. del vaso con. *AA*. Per l'uso citiamo test. il Fourier: « On échauffe d'abord, et séparément, le vase conique *A* jusqu'à une température déterminée, celle de 40 degrés; ensuite, ayant mis sur le support la plaque mince ou la feuille dont on veut mesurer la conducibilité, on pose au dessus de cette plaque le vase conique de mercure; puis on observe avec soin le refroidissement progressif, en marquant les temps écoulés et les températures correspondantes ». Da questi elementi, col calcolo, il Fourier deduceva la varia conduttività dei corpi per il calore.

Fig. 2. — Alt a disposizione più sensibile, però di uso meno facile, con la quale la conducibilità è dedotta con « l'observer, non point comme dans la première, les abbaissements successifs de la température d'un corps que l'on a d'abord échauffé; mais la température finale et fixe que produit la chaleur en traversant differentes matières »; *A* e *B* vasi mant. costant. rispett. a 100^0 ed alla temp. del ghiaccio fond.; *ccc'c'* serb. metall. di un term. ad aria molto sensib., di cui in *O* comincia l'indice colorato; *vvbb* cuscinetto di mercurio, la cui aggiunta venne suggerita dal Colladon di Ginevra, che aiutò il Fourier nello stabil. le esperienze: il cusc. viene form. riempiendo con merc. la cav. compresa tra la capsula circol. *vvv* in lam. metall. sottile e la parete *bbb* di pelle sott. ricopr. sup. il bagno di merc.; *aa* sez. dell'anello che serve a mant. tesa la pelle. La sost. su cui esperim. veniva interp. tra la pelle del bagno ed il serbat. del termom. ad aria.

(2) I risultati di quella esperienza erano stati riassunti, con i primi lavori di teoria, in un art. del marzo 1803 del « *Nouveau Bulletin des Sciences par la Soc. Philomatique*, T I, p. 112 a 116. Quell'articolo, firmato P., era dell'illustre geometra Poisson, uno dei redattori del *Bulletin* per la parte matematica.

si tratti di un calorifero, si tratti di un refrigerante, la sua determinazione ed il costo del suo esercizio dipendono dalla conduttività delle pareti.

In relazione col primo vogliono essere ricordate le ricerche del Péclet, riferite nel « *Mém. sur la déterm. des coeff. de conductib. des métaux par la*

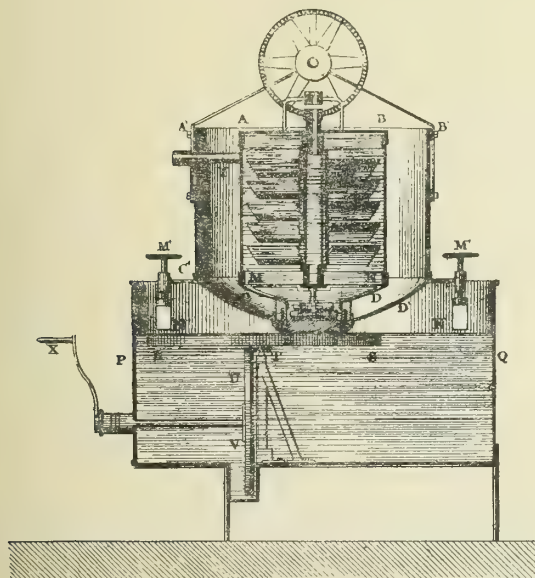
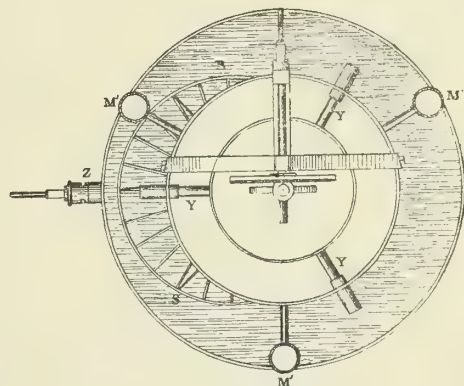



Fig. 1. Fig. 2.

Apparecchio del Péclet per misure su la conduttività dei metalli per il calore. Fig. 1 sezione; fig. 2 pianta.

Riprod. delle fig. 9 e 10 della Tav. I, T. II, a. 1841 degli *Ann. de Ch. et de Phys.*, monog. orig. del Péclet citata nel testo.

Legg. espl. — « *ABCD* est un vase en fer blanc fermé inférieurement par la plaque métallique *EF*. Ce vase renferme un tube en cuivre qui porte des palettes placées à différentes hauteurs et à la partie inférieure des toiles de crin; il est guidé dans son mouvement par deux anneaux qui l'enveloppent et qui sont fixés dans leurs positions par les tiges *IK* et *MN*. Il est terminé supérieurement par une petite roue dentée. Le vase est fermé par un couvercle dont les bords sont mastiqués, et à travers lequel passe le tube qui porte les ailes destinées à agiter le liquide; ce couvercle porte un anneau *O*, dans lequel on place un bouchon percé, à travers lequel passe la tige du thermomètre... *A'B'C'D'* est un second vase qui enveloppe le premier auquel il est fixé par trois tiges de verre *YYY*; il est rempli de coton cardé, et garni de trois pieds à vis *M'M'M'* qui se placent sur les supports *M'N'*, soudés au vase inférieur *PQ*; le vase *A'B'C'D'* supporte la roue dentée à manivelle qui engrène dans le pignon du tube central. Enfin le vase *PQ* renferme un roue orizontale *RS* dont les ailes en tresse frottent dans leur mouvement la surface inférieure de la plaque *EF*; cette roue est mise en mouvement par le pignon *T*, la roue dentée *UV* et la manivelle *X*, dont l'axe traverse la boite à étoupe *Z* ». Péclet, mem. cit. nel testo, pag 112 e 113. Con cotesto apparecchio il Péclet arrivava a rinnovare fino a 1600 volte al minuto il liquido in contatto con la lamina metallica, e poteva così stabilire la sua « legge degli spessori ».

chal. » — in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1841, T. II, pag. 107 — che lo avevano portato — tenendo conto anche di numeri trovati dal Despretz in certi studi di cui si dirà tosto — a stabilire siffatti coefficienti per dieci sostanze — oro, platino, argento, rame, ferro, zinco, piombo, marmo, porcellana e terracotta —; e da cui aveva potuto desumere di più « une vérification directe des lois admises sur la transmission de la chaleur à travers

Esso è riprodotto per intero nel T. II, pag. 215 e seg. delle *Oeuvres ed. Fourier* « pubblicate a cura del Darboux sotto gli auspici del Ministero dell'Ist. Pubbl. di Francia, coi tipi del Gauthier-Villars. Da quell'articolo riporteremo un brano che contiene il giudizio dell'illustre estensore sull'esperienza relativa al raffreddamento dell'anello di ferro. « Le Mémoire dont nous rendons compte » scrive il Poisson « est terminé par le détail des expériences que l'auteur a faites pour vérifier les résultats de son analyse, et qu'il se propose de répéter avec des instruments plus précis. La plus remarquable est celle qui est relative au refroidissement d'un anneau métallique: on observe que bientôt l'anneau parvient à un état dans lequel la somme des températures des deux points placés aux exstremités d'un même diamètre est la même pour tous les diamètres, et qu'une fois parvenu à cet état, il le conserve jusqu' à son entier refroidissement. M. Fourier a vérifié que cette propriété du refroidissement final est indépendante de la distribution primitive de la chaleur dans l'anneau, et sur ce point l'expérience s'est trouvée d'accord avec son analyse qui l'avait conduit au même résultat.

les corps » e « ce fait important pour les applications, que dans le chauffage par la vapeur ou les liquides, avec les dispositions généralement employées, la nature et l'épaisseur du métal n'ont point, ou du moins, n'ont que trés-peu d'influence sur la quantité de chaleur transmise, et qu'on augmenterait beaucoup la conductibilité effective en renouvelant rapidement les liquides qui mouillent les surfaces intérieures et extérieures des vases ou des tuyaux ».

Col quale fatto ci sembra da accoppiarsi l'altro stabilito quasi sessant'anni più tardi dal Ferrini. — « Sulla trasmissione del calore attraverso i muri » in « *Rendiconti* » *del R. Ist. Lomb. di sc. e lett.*, Serie II, Vol. XXXI, a. 1898. — Egli, studiando con vedute nuove il problema — interessante per la calcolazione degli apparecchi di riscaldamento degli ambienti — arrivava, mercè un'analisi acuta e geniale, ad assegnare alle pareti il loro reale ufficio — quello di vero *volante* regolatore del calore — distinguendo non solo il periodo di *regime* da quello di *avviamento*, ma considerando in questo medesimo due stadi: uno *di sola propagazione*, in cui il calore « non fa che propagarsi via via da uno strato all'altro » ed uno « di *propagazione accompagnata da trasmissione*, durante il quale si accresce fino al limite di regime ».

I lavori del Despretz testè accennati riguardano l'altro problema, che già il Biot — *Traité de Phys.* a. 1816, T. IV, p. 666 e seg. — aveva considerato analiticamente e sperimentalmente. Il Despretz, il quale fin dal 1817 — seduta del 3 novembre — aveva comunicato all' *Ac. d. Sc.* delle ricerche « *Sur le Refroidissement de quelques métaux pour determiner leur chaleur spécifique et leurs conductibilité extérieure* », memoria che è riportata in *Ann. de Ch. et de Phys.*, stesso anno, T. VI, pag. 184 a 201 —, il Despretz, diciamo, poco dopo presentava alla stessa Accademia il classico « *Mémoire sur la conductibilité de plusieurs substances solides* » — in minima parte riprodotto negli Annali citati, a. 1821, T. XIX, pag. 97, unitamente alla relazione del Fourier — a cui, in base a cotesto rapporto, l'Accademia decretava l'onore della pubblicazione nella collezione dei *Mémoires des savants étrangers*, ed in cui il Despretz esponeva i risultati avuti ricorrendo — con perfezionamenti nei particolari — al metodo stesso del Biot: studiare la propagazione del calore nella sbarra, col disporre — entro cavità equidistanti tra loro, praticate in essa e riempite di mercurio — il bulbo di un termometro, riscaldare ad una estremità, e leggere nella temperatura dei termometri stessi quanto occorreva a stabilire la legge di propagazione. Coteste esperienze — in tutte le quali il Despretz usava sbarre di identica sezione, ricoperte di nerofumo perchè fossero uguali i coefficienti di conduttività superficiale, difese mediante schermo dall'irraggiamento nella sorgente di calore, e curava che le cavità fossero molto piccole — venivano da lui — « *Sur la conductibilité des princ. Mét. et de quelq. subst. terr.*, *Ann.* citati, a. 1827, T. XXXVI, p. 422, e « *Nouveaux nombres sur la propag. de la chaleur dans les corps* », in *C. R.* T. XXXV, a. 1852, p. 540-548 — continuate in seguito.

Esse però — quantunque, per i progressi della fisica, più attendibili di quelle del Biot — erano affette da cause di errore: le sbarre erano a sezione troppo grossa — un quadrato del lato di 21 mm. per le sbarre metalliche,

maggiore ancora per la porcellana e le terre rifrattarie — per cui mancava la sicurezza che la temperatura fosse uniforme in tutta la estensione di ciascuna sezione trasversale: di più il calore veniva a propagarsi in una sbarra formata non dalla sola sostanza studiata, ma da questa, dal mercurio e dai bulbi termometrici.

Un fisico norvegese, il Langberg di Cristiania — « *Ueber die Bestimmung der Temperatur und Wärmeleitung fester Körper* », in *Pogg. Ann.*, a. 1845, T. LXVI, pag. 1 a 30 — pensava di rimediare a coteste cause di errore — da lui messe a nudo con una severità di giudizio della quale il Despretz si doleva pubblicamente in una comunicazione fatta molto più tardi (1) all'*Ac. des Sc.* — coll'usare dei fili sottili anzi che delle grosse sbarre, e col valersi di pinzette termoelettriche — a bismuto ed antimonio — applicate contro il filo, invece che di termometri ordinari disposti al modo usato dal Biot e dal Despretz. Idee buone di certo, coteste, ma nella cui attuazione il fisico scandinavo incappava a sua volta in altre cause di errore (2), alle quali rimediarono poi Wiedemann e Franz « *Ueber die Wärme-Leitungsfähigkeit der Metalle* » in *Pogg. Ann.*, a. 1853, T. LXXXIX, p. 497 a 531 — usando sbarre del diametro di 6 millimetri, chiuse entro una lunga campana di vetro, secondo le quali molto prontamente si poteva muovere la pinza, e giungendo a conclusioni che confermavano sperimentalmente quelle del Fourier, e perfettamente attendibili, vista l'abilità degli sperimentatori — della quale un'idea esatta potrà dare il fatto che in esperienze ulteriori essi tornarono al metodo imperfetto del Despretz, riuscendo a risultati sensibilmente uguali a quelli ottenuti mediante l'altro ideato dal Langberg —.

Disposizione del Despretz per lo studio della conduttività interna delle sbarre solide.

Metodi nuovi di sperimentare cotesta conduttività interna dei corpi acquistava la fisica con F. Neumann professore all'Università di Königsberg (3) e con lo svedese J. A. Angström (4). Questi osservava le condizioni

(1) « *Nouveaux nombres sur la prop. de la chal. dans les corps* », già citata nel testo — pag. 274 —.

(2) Nelle esperienze del Langberg si devono riconoscere le seguenti cause di errore: mancanza di cautele per tutto nel rendere ugualmente intimo il contatto tra la pinzetta termoelettrica ed il filo; tempo lungo — circa tre minuti — tra l'applicazione della pinzetta e la misura della temperatura, per cui questa poteva essere influenzata dal contatto con la pinzetta stessa; sviluppo di forza elettromotrice nell'elemento termoelettrico proveniente dalla propagazione del calore in esso, dovuta essa pure alla lunghezza del contatto; influenza perturbatrice — notevole per la sottigliezza stessa del corpo sottoposto ad esperienza — di cause esterne, come la presenza dello sperimentatore, correnti di aria ecc.

(3) « *Exp. sur la conductibilité calorif. des solides* in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1862, T. LXVI, p. 183.

(4) « *Ny method at bestämma kroppars ledningsförmåga för wärme* » (Nuovo metodo per determinare la conduttività nei corpi per il calore) in *öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*, a 1861, pag. 3 a

periodiche in diversi punti di una sbarra, producendo variazioni di temperatura nella parte centrale — col riscaldarla a 100° e raffreddarla verso zero alternativamente, e ad intervalli uguali di circa dodici minuti —; ed il primo sperimentava col riscaldare la sbarra ad un estremo, ed osservare il modo di procedere del raffreddamento in diversi punti dopo che era stata soppressa la sorgente di calore. Il Thoulet poi — *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1882, T. XXVI, p. 261 — ideava di determinare la conduttività — mantenendo a temperature costanti conosciute la faccia inferiore di una lamina — col determinare il tempo necessario a che su l'altra la temperatura passasse da un valore fisso — 50° p. e., riconoscibili al fondersi di un indice di stearina — ad un altro valore fisso — 84° pure riconoscibili per il fondersi di un indice di cera di Carnauba —. Il Berget — *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, T. CXV, p. 1350, a. 1892 — applicava ingegnosamente il metodo delle interferenze luminose, prodotte mediante la differenza di conduttività in due sbarre acconciamente disposte ed identiche in tutto, tranne appunto che nella conduttività termica interna. Molto recentemente lo Schulze — *Wied. Ann.*, a. 1898, T. LXVI, p. 207 — applicava a cotesta ricerca la differenza tra i tempi occorrenti ad ottenere che un elemento termoelettrico — posto in una cavità situata a qualche centimetro da un estremo della sbarra — avesse ad indicare una medesima deviazione al galvanometro quando quell'estremo veniva bagnato con una forte corrente di acqua, una prima volta ad una determinata temperatura ed una seconda ad un'altra; ed il Christiansen, professore all'Università di Copenhagen — « *Eine Versuche über die Wärmeleitung* », pure in *Wied. Ann.*, T. XIV, p. 23, a. 1881 — aveva mostrato come si potessero confrontare le conduttività relative di due sostanze col porne due lamine — una per ciascuna — negli spazi lasciati tra tre lamine sovrapposte di rame, delle quali la superiore veniva riscaldata e si raffreddava l'inferiore. E — per materie di cui si abbiano piccoli campioni — il Lodge — *Phil. Mag.* a. 1878, 5ª serie, T. V, p. 110 — aveva immaginato di serrare fortemente la lamina tra le due parti di una sbarra della quale fosse ben nota la conduttività, determinando poi — mentre una estremità del sistema era mantenuta a 100° e l'altra a 0° — l'andamento delle temperature *stazionarie* in vari punti opportunamente scelti, e deducendo in seguito col calcolo il valore richiesto.

Anche le materie di scarsa conduttività dovevano essere studiate; e lo furono — con metodi diversi che si riducono nella maggior parte dei casi ai precedenti — varie terre dal Von Littrow, una pietra feldspatica, molto in uso nelle costruzioni al Giappone, da Ayrton e Parry; il gneiss dal Weber; l'ardesia ed il granito da Kelvin e Murray; diverse qualità di marmo dagli americani Peirce e Willson; la neve dallo Hjelström, il ghiaccio — *Nuovo Cim.*, serie IV, T. VII, a. 1898 — dal nostro Straneo; i vetri dal Focke, dal Winkelmann e — *Nuovo Cim.*, a. 1899, T. IX — dal Dina che nella stessa occasione si occupava pure dell'ebonite, materia che aveva studiato anche il Mach.

17; « *Rech. sur la conduct. des corps pour la chal.* » in *Nova Acta Soc. Scientiarum* di Upsala, a. 1861, p. 51 a 72; e *Om kopparns och jernets ledningsförmåga för wärme vid olika temperatur* » (Su la conduttività del rame e del ferro per il calore a varie temperature) nei citati *öfversigt*, a. 1862, pag. 21 a 28.

Senonché un interesse tutto speciale, anche rispetto a cotesta questione della conduttività termica, offrono i corpi a struttura non omogenea nelle diverse direzioni. E come De La Rive e De Candolle — « *Note sur la conduct. relative, pour le calorique, des differents bois, dans le sens de leurs fibres et dans le sens contraire* », in *Bibl. Univ.* di Ginevra, a. 1828, T. XXXIX, p. 206 a 211 — avevano riconosciuto che nel legno il calore si propaga nel senso longitudinale delle fibre meglio che nel trasversale, lo constatava pure, una ventina di anni dopo, il Tyndall — « *On Molecolar Influences, Part I, Transmission of Heat through Organic Structures* » in *Phil. Trans*, a. 1853, parte II, pag. 217 a 231 — operando su varietà numerosissime di legni; e poco dopo

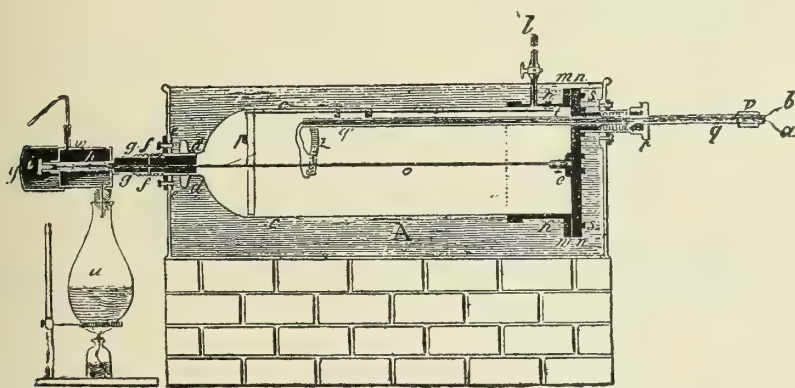
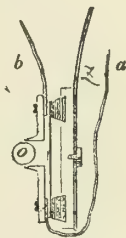



Fig. 1. Fig. 2.

L'apparecchio di G. Wiedemann e R. Franz per lo studio della conduttività interna dei solidi.

Fig. 1 veduta d'assieme. Fig. 2 particolare della pinza termoelettrica.
Riprod. delle fig. a pag. 502 e 503 della monog. orig. citata nel testo — pag. 275 —.
Legg. espl. — Fig. 1: *o* sbarra metall. su cui si sperim. collocata sec. l'asse di una camp. di vetro — del diam. di 16 cm. e della lungh. di 50 — chiusa a tenuta d'aria e vuotata med. il tubo a chiave *l*: un estr. della sbarra si trova nel tubo *h*, e può essere riscald. med. vap. d'acqua fatto circol. nel manicotto *w*; *z* pinza termoelettrica scorrev. lungo la sbarra med. il tubo *qq'* nel cui interno pass. i fili colleganti *z* al galvanom.: *A* acqua a temperatura costante di 12.°
Fig. 2: *z* molla su cui è fissata una lastrina d'avorio — lunga 30 mm., larga 3 —; *i, i'* appendici d'avorio fissate alla lastrina, abbraccianti la sbarra met. *o*; l'elem. termoelettrico — form. da un filo di ferro e da uno di argentana saldati — sta tra *i, i'* e la lastrina in modo che tocchi *o*; *a* e *b* fili di colleg. col galvanometro.

il Tyndall lo confermava il Knoblauch — « *Ueb. den Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften und Structurverhältnissen bei verschiedenen Holzarten* », in *Pogg. Ann.*, a. 1858, T. CV, p. 623 — con una moltitudine di esempi e con precisione di misure, da fare di quel lavoro, ancora oggi, il più completo e bello in argomento, tanto che mal si comprende come il Less nel suo dotto e sagace lavoro « *Ueber die Wärmeleitungs fähigkeit schlechtleitender Körper, insbesondere der Gesteine und Hölzer* » — riassunto in *Journ. de Phys.*, a. 1878, pag. 310 — lo potesse dimenticare.

Il Senarmont (1) aveva preso, invece, a considerare i cristalli, mirando di proposito (2) a scopo che andava ben oltre la tassativa determinazione di numeri e di fatti specifici, considerati esclusivamente in se; mirando cioè

(1) « *Mém. sur la conduct. des subst. cristallisées pour la chal.* »: due note entrambe con cotesto titolo, presentate all'*Ac. d. Sc.* di Parigi il 27 settembre 1847 e il 15 novembre immediatamente successivo, e conten. negli *Ann. de Ch. et de Phys.*, rispettivamente T. XXI, pag. 457, a. 1847, e T. XXII, p. 179, a. 1848 —; e « *Exp. sur les modif. que les agents méc. impriment à la conduct. des corp homogènes pour la chal.* » pres. all'*Ac. d. Sc.* il 15 maggio 1848 e pubbl. negli Annali citati a. 1848, T. XXIII, p. 257.

(2) Tous les phenomènes qui se passent à l'intérieur des corps, de molécules à molécules, et dépendent

a far luce su la intima costituzione della materia: studio difficile, quello — oltre che per le ragioni di ordine generale comuni a coteste ricerche — a cagione della piccolezza dei corpi su cui doveva operare — laminette di cui il diametro non oltrepassava i 38 millimetri —, e per il quale — dopo avere tentato di usare come mezzo di riscaldamento il calore solare concentrato con opportuno sistema di lenti, o quello generato da una corrente elettrica percorrente un filo metallico attraversante la laminetta — si era deciso a valersi dapprima di una corrente di aria determinata, mediante un aspiratore, in un tubetto d'argento riscaldato, poi di un'asta dello stesso metallo terminante in punta, ed aveva ricorso al vecchio metodo dell' Ingen-Ousz per studiare la distribuzione del calore — che appariva nettamente, più nelle lamine maggiormente sottili, mercè le linee limitanti l'area in cui la cera fondeva, accumulandosi « en forme de bourrelet liquide » —.

Il Senarmont riusciva così a provare che « les differents systémes cristallins ont des propriétés thermiques, comme des propriétés optiques qui leurs appartiennent », e ad assegnare coteste proprietà per le varie sostanze cristalline a seconda del sistema a cui appartengono. Nè meno interessante è, del Senarmont pure, il lavoro su le modificazioni che gli agenti meccanici imprimono al potere conduttivo — sempre per il calore — dei corpi omogenei — cristallo di varie specie, porcellana ecc. che venivano compressi ovvero dilatati —.

« Les recherches plus récentes de M. von Lang (1) et de M. Iannetaz » (2) scriveva poi molto giustamente il Jamin « ont étendu à un très-grand nombre de cristaux les résultats obtenus par de Senarmont, mais sans établir de relations nouvelles. »

Veramente non si può dire altrettanto di tutti i risultati numerici avuti da lui. Così le esperienze — sul quarzo, la calcite e il salgemma — del Tuchschmid — citate dal Soret nel suo importante lavoro « *De la conduct. calorif. dans les cristaux* », in *Journ de Phys.*, a. 1893, pag 241 a 259 — hanno dato numeri molto differenti da quelli trovati dal Senarmont. Malgrado ciò, quei lavori — sebbene egli stesso dicesse doversi essi « regarder seulement comme une première ébauche » — conservano sempre la più alta importanza.

E, in realtà, malgrado i molti lavori eseguiti dippoi anche in cotesto

soit de l'arrangement des molécules, soit des forces qui les réunissent, présentent un intérêt particulier C'est par là qu'on peut, en effet, espérer de jeter quelque jour sur le problème si obscur de la constitution intime des solides.

Mais si l'on veut retrouver dans les phénomènes l'influence des forces moléculaires, il est indéspensable que ces forces soient semblablement coordonnées dans toute l'étendue du milieu matériel, et ne forment pas des systèmes partiels, dont les résultantes opposées puissent s'équilibrer et se détruire. Il faut, par conséquent, que les molécules elles-mêmes aient pu s'arranger librement, en obéissant à leurs actions mutuelles et aux lois d'une structure régulière, afin que les effets contraires d'un nombres infini de groupes moléculaires, dirigés dans tous les sens ne viennent pas s'annuler en se compensant, comme cela ne peut manquer d'avoir lieu dans les corps appelés homogènes, qui ne sont autre chose que le produit d'une agrégation confuse. Une condition paraît donc indispensable au succès des recherches physiques sur les solides: c'est d'expérimenter sur des substances régulierement cristallisées ... C'est en opérant sur des cristaux que M. Mitscherlich à rencontré d'intéressantes découvertes dans l'étude jusque-là si stérile des dilatations; et M. Savart a dû à la même méthode des résultats non moins remarquables ». Senarmont, prima delle tre monografie citate.

(1) « *Orientirung des Wärmeleitungsfähigkeit einaxiger Krystalle* »: in *Sitzungsberichte* dell'Acc. di Vienna, T. LIV, riprodotto in *Pogg Ann.* a. 1868, T. CXXXV, p. 29.

(2) « *De la propag. de la chal. dans les corps cristallisés* », in *Journ. de Phys.*, a. 1876, p. 150.

campo speciale riguardante i cristalli, ben poco di nuovo venne aggiunto, pur essendovi lavori meritevoli di nota, quali — i soli che ne paiono da menzionarsi qui — quelli di teoria — pura o confortata da esperienze — del Soret testè nominato occasionalmente — e che è parte degli « *Éléments de Cristallographie physique*, pubblicati nel 1893 coi tipi del Gauthier-Villars di Parigi — del Voigt — « *Eine neue Methode zur Untersuchung der Wärmeleitung in Krystallen* » in *Wied. Ann.* a. 1897, T. LX — e gli altri — di indole sperimentale — su l'*oligisto*, dello svedese Bäckström — *Öfversigt* dell'Acc. delle Sc. di Stoccolma, a. 1888 — improntato al metodo, già indicato, del Christiansen — opportunamente modificato, metalizzando ed amalgamando le lamine e sostituendo delle saldature termoelettriche ai termometri impiegati dal fisico danese — su la *tormallina*, di Sylvanus Thompson e Oliviero Lodge — « *On Unilateral Conductivity in Tourmaline Crystals* » in *Phil. Mag.*, a. 1879, T. VIII, p. 18 — e pure su la tormallina — un esemplare del Brasile ed uno di Ceylan — dello Stenger — « *Zur Wärmleitungsfähigtigkeit des Turmalins* », in *Wied. Ann.*, a. 1884, T. XXII, p. 522—.

Apparecchio del Christiansen per il confronto della conduttività di due sostanze diverse.

Ripr. della fig. 4, Tav. 1, monog. orig. del Christiansen citata nel testo. *Legg. espl.* — I, II, III, lamine di rame — diam. 13,13 cm., spess. 0,9 — separate da cilindretti di vetro, tra le quali si pon. le lamine su cui si sperim.; lateralm. ed orizz. i term. per espl. la temp. della lam. di rame; *A* e *B* recipienti di ottone nei quali circ. risp. dell'acqua fredda e dell'acqua calda.

Questa rassegna degli studi su la conduttività dei solidi sarebbe incompleta se ommettessimo di rilevare come la fisica matematica sia giunta nel secolo XIX a poter trattare in un modo generale la trasmissione del calore entro una massa solida, stabilendo anche le equazioni delle *superfici isoterme* — ossia aventi in ogni punto la stessa temperatura — e, per conseguenza, quelle della *linea di propagazione* — normale in ogni punto alle varie superfici isoterme —. Con cotesto modo di considerare le questioni il problema « del muro » e quello « della sbarra », in un certo senso, si confondono in un unico problema generale; e la forma della superficie isoterma, quale può venire data dall'esperienza, vale a fornire all'analisi i coefficienti — speciali da caso a caso — di cui essa ha bisogno perchè le sue formole, dal campo della speculazione pura, scendano a portare il beneficio di cui sono suscettibili nell'applicazione. Cotesta forma però, nella storia delle sue determinazioni sperimentali, ha compiuto un altro ufficio: essa ha largamente dimostrato la sicurezza dell'indirizzo preso dall'analisi. È infatti con i procedimenti di questa — per citare un esempio cospicuo per il nome dello scienziato e per la importanza del lavoro — che il Lamé — « *Leçons sur la théorie analytique de la chaleur* », Parigi, Mallet-Bachelier, 1861 — dimostrava come nei corpi a struttura cristallina le superfici isoterme dovessero essere elissoidali: tutte le determinazioni sperimentali fatte sui cristalli sono lì a confermare i risultati matematici avuti dal Lamé.

Circa i liquidi, lasciando le esperienze del Rumford — già accennate a pag. 175 — e dalle quali egli aveva concluso che la conduttività dell'acqua è nulla; lasciando le esperienze ingegnose con cui il Nicholson ed il Murray avevano messo fuori di dubbio che realmente pure i liquidi sono dotati della facoltà di condurre il calore, non si trovano esperienze importanti fino al 1839. Sono quelle del Despretz su l'acqua — « *Mémoire sur la propagation de la chaleur dans les liquides* » *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, a. 1838, T. VII; in esteso in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1839, T. LXXI, p. 206 — alle quali faceva seguire subito le « *Nouv. observ. sur la prop. de la chal.* » in *C. R.*, a. 1839, T. VIII, p. 838 a 840 —. Il Despretz facendo circolare dell'acqua a 100° entro un vaso cilindrico di rame fissato a chiudere in alto un recipiente di legno — pure cilindrico e posto con l'asse in direzione verticale — riempito anch'esso di acqua, misurava le temperature di questa a differenti altezze, dopo che essa mercè il prolungarsi di molto dell'esperienza — essa aveva durato trentadue ore nella prima serie e sessanta nelle seconda — era giunta ad assumere un regime di *stazionarietà*. Col disporre il recipiente in alto, egli metteva il liquido nelle stesse condizioni di una sbarra riscaldata ad un estremo; il rimescolarsi della massa per correnti calde — ascendenti in essa perchè più leggiere a motivo della temperatura più alta — quale sarebbe avvenuto col porre al disotto il recipiente ad acqua calda, non era possibile: il liquido veniva a riscaldarsi come una sbarra solida, ed egli trovava per tale maniera che pure ai liquidi si poteva applicare la legge data dal Fourier appunto per le sbarre (1).

Le esperienze del Despretz venivano ripetute trent'anni dopo dal Paalzow — « *Ueb. das Leitungsvermögen einiger Flüssigkeiten für Wärme* », in *Pogg. Ann.*, a. 1868, T. CXXXIV, p. 618 — per diversi liquidi — mercurio, acqua, soluzione di solfato di rame, acido solforico ecc. — mediante un tubo del diametro di 60 m.m.; e pressapoco alla stessa epoca del Paalzow si occupava del medesimo argomento il Guthrie, professore al *Royal College* a Mauritius — « *Note of Experiments upon the Conduction of Heat by Liquids* » in *Phyl. Mag.*, serie 4ª, T. XXXV, 1.º sem. 1868, p. 283 a 287, e *On the Thermal Resistence of Liquids* », memoria letta alla *R. Soc.* di Londra il 21 genn. 1869, e di cui un estratto è nel *Phyl. Mag.* dello stesso anno, 4ª serie, T. XXXVII, pag. 468 — valendosi di disposizioni speciali — ad una delle quali dava nome di *Diathermometer* — sottoponendo ad esame parecchi liquidi — più di venti nella seconda serie, tutti di natura organica, ad eccezione dell'acqua — ed arrivando nel secondo lavoro alla conclusione che « i liquidi dotati di alta diatermaneità offrono sempre una grande resistenza alla conduzione del calore ».

Ancora in quel tempo col metodo dell' Angström — *Wüllner*, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, 5ª Ediz., Lipsia, Teubner, 1896, T, II, pag. 311 — sperimentava il Lundquist — « *Undersökning of några vätskors Leidningsförmåga*

(1) « Cotesta legge che il Fourier — *Théorie du mouvement de la chaleur dans les corps solides*, capit. III, § 7 dell'ediz. dell'*Ac. des Sc.*, T. IV citato precedentemente, pag. 219 — dà, naturalmente, in forma analitica, potrebbe formularsi dicendo che « in una sbarra di lunghezza infinita, quando si considerano le temperature in punti equidistanti tra loro, gli eccessi di coteste temperature su quella dell'ambiente, divisi ciascuno per l'antecedente, dànno sempre il medesimo quoziente.

för Wärme » (Ricerca su la conduttività di diversi corpi per il calore) Upsal, *Universitets Arsskrift*, 1869 — su mercurio, acqua, acqua salata, diverse soluzioni di solfato di zinco, ed acido solforico a diversi gradi di concentrazione; e qualche anno dopo il Winkelmann faceva studi — « *Bestimmung der Wärmeleitung in Flussigkeiten* », in *Pogg. Ann.* T. CLIII, p. 482 — nel laboratorio del Wüllner, come narra questi — *Die Lehre von der Wärme*, p. 311 — applicando un metodo ideato dallo Stefan per i gaz, ma del quale i risultati — malgrado la fede che lo sperimentatore doveva aggiustarvi — costituiscono un punto interrogativo.

Su quelle del Lundquist invece è notevole il fatto che H. F. Weber,

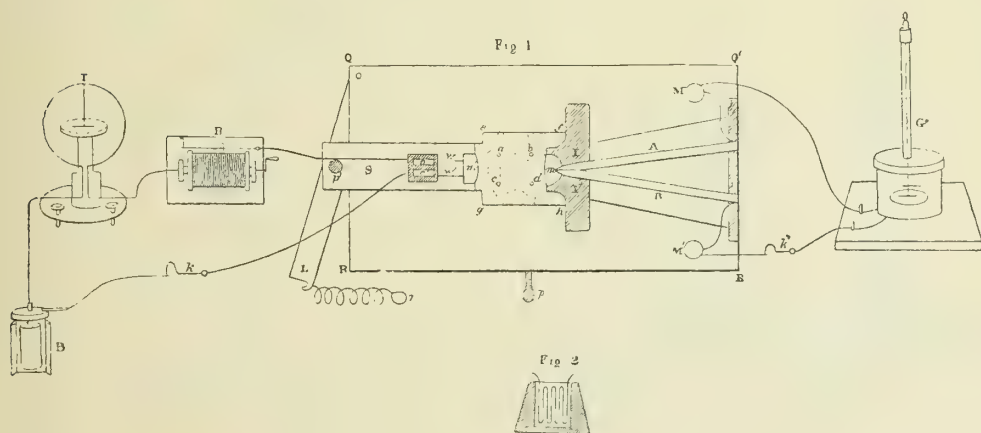



Fig 1

Fig 2

L'apparecchio del Tyndall per le esp. su le differenze di conduttività dei legni nelle div. direz.

Fig. 1, assieme ; Fig. 2, particolare del filo di platino.
Riprod. delle fig. 1 e 2 a pag. 219, monog. orig. del Tyndall cit. nel testo.
Legg. espl. — Fig. 1: *RQR'Q'* blocco di mogano — lunghezza mm. 86, largh. mm. 46, spess. mm. 12,5 — nel quale è praticata una cavità cubica *efhg*, dest. a ricev. il campione su cui sperim. tagliato pure a cubo; *m',m* vascbette a merc. con parete sottiliss. flessib. verso la cav.: nel merc. della prima sta un filo di platino — isolato elettric. dal merc. med. sottile lam. di mica, rappr. a parte nella fig. 2 — e nel quale med. i fili *w* e *w* partenti dalle vaschette a merc. *c,c'* può arriv. la corr. fornita dalla pila *B*: nel merc. di *m* sta la saldat. della coppia termoelettr. *BA* — bism. e ant. — che fa capo al galvanometro *G*: *a,b,c,d* punte di avorio dest. a portare il blocco di legno su cui si sperim,; *S* pezzo scorrevole di legno dest. a formare, per press., un buon contatto tra le par. flessili di *m'* ed *m* col blocco. — Il cal. che la corr. di *B* — regolab. med. il reostato *R* e misurab. col galvanom. *T* — sviluppa nel filo di plat. colloc. in *m'*, diffondendosi nel mercurio, riscalda una delle faccie del dado: il calore trasm. attrav. a questo riscalda a sua volta — più o meno sec. la conduttiv. — la saldat. termoelettrica *BA*. Così può essere stud. cotesta conduttività. Il campione veniva foggiato a cubo per poterlo adattare entro la cav. in modo da stud. la trasmiss. secondo tutte e tre le direzioni.

l'illustre professore del Politecnico di Zurigo — « *Untersuchungen über die Wärmeleitung in Flüssigkeiten* », riprodotte dalle pubblicazioni accademiche di Zurigo in *Wied. Ann.* T. X, pag. 103, 304, 472 — studiando appunto la conduttività dei liquidi con un metodo originale, di cui la base è nei risultati dell'opera del Fourier, e sperimentando largamente — anche per esaminare le variazioni di conduttività al variare della temperatura — giungeva per le sostanze su cui aveva operato il Lundquist a risultati perfettamente concordi con quelli del fisico scandinavo. Fatto cotesto che si è posto in rilievo perchè, mentre è prova di attendibilità dei risultati, costituisce un accordo di cui, a vero dire, la storia di questa parte della scienza non offre molti esempi: i lavori dell'Herwig — *Pogg. Ann.* T. CLI, a. 1874, — e del Beetz — *Wied. Ann.* T. VII, a. 1879 — confrontati con altri, informino, sia pure perchè — come dimostrava il Weber — il primo aveva interpretato e

calcolato inesattamente le sue esperienze, e perchè il secondo, nel calcolare le sue, aveva applicato a tutte una formola, di cui l'uso doveva essere riservato solo a sostanze che soddisfacevano a certe condizioni.

Del Weber poi — a cui la fisica deve tanta copia di lavori magistrali su argomenti svariatissimi — sono pure a ricordarsi le numerose ricerche — riguardano circa cinquanta liquidi — comunicate nel luglio del 1885 all'Accademia di Berlino — Wüllner *op. cit.* p. 317 —.

Con questi del Weber la storia deve registrare pure gli altri del Graetz, che — *Wied. Ann.*, a. 1883, T. XVIII, p. 79 — ideato un metodo nuovo — il cui concetto è quello di far passare il liquido ad una temperatura nota entro un tubo metallico a temperatura più bassa tenendo conto poi della temperatura media e del volume del liquido — ne completava la teoria, e lo applicava — « *Ueber die Wärmeleitungsfähigkeit von Flüssigkeiten* », in *Wied. Ann.*, a. 1885, T. XXV, p. 338 — a diversi liquidi — etere, petrolio, alcole, solfuro di carbonio, ecc. —; del Wiener — *Wied. Ann.* 1893, T. XLIX — che seguendo un'idea di Macé de Lépinay e Perot — troppo complessa per potere essere esposta in queste pagine vietate al calcolo matematico — riusciva — esempio veramente notevole di suprema delicatezza di sperimentazione — a studiare la conduttività dell'acqua mediante le inflessioni di un raggio di luce in un sistema formato di acqua a 7° ed a 53° sovrapposte; del Berget — « *Conduct. thermique du mercure et de quelque métaux* », in *Journ. de Phys.*, a. 1888 — che si valeva del calorimetro del Bunsen, modificato, valutando la quantità del calore trasmesso mediante fusione di ghiaccio, facendo esperienze di controllo, ed occupandosi anche del mercurio a temperature superiori ai 100°; del Wachsmuth nel 1892, all' Istituto fisico di Lipsia — « *Untersuch. auf dem Gebiet der inneren Wärmeleitung* », in *Wied Ann.*, a 1893, T. XLVIII, p. 158 a 179 — su balsami ed olî, valendosi del metodo del Weber e mettendo in luce come la viscosità sia senza influenza su la conduttività; di Milner e Chattock — « *On the Thermal Conductivity of Water* » in *Phil. Mag.*, a. 1899, 5.ª serie, T. XLVIII, pag. 46 a 64 — che sia per il riscaldamento — di uno straterello di acqua — sia per la determinazione delle temperature, si valevano delle risorse offerte dai progressi dell'elettricità.

Sono cotesti — in linea principale — i lavori che hanno gettato luce sulla entità della trasmissione, per conduzione, del calore nei liquidi. È esso pure un ramo della scienza nato e sviluppatosi nel secolo XIX, poichè fino agli studi del Despretz — vale a dire fin a quasi il mezzo del secolo — l'argomento medesimo non era stato nemmeno preso in considerazione: il Biot, che nel suo mirabile *Traité de Physique* T. IV, pag. 600 a 685 — parla diffusamente del calore raggiante e della propagazione del calore nei solidi; che vi riferisce esperienze da lui fatte sul primo col Decandolle, e che sull'altra non solo ricorda il contributo portato da lui stesso, con un lavoro di analisi — il primo in cui fosse l'equazione differenziale relativa al problema della sbarra, « lu à l'Institut en 1804 et qui a été imprimé dans la Bibliothèque britannique » — ma parla anche di esperienze numerose fatte pure da lui stesso in argomento; che — lo si rileva da una nota del Despretz apposta — pag. 209 — alla esposizione storica con cui comincia la sua prima Memoria — *Ann. de*

Ch. et de Phys., T. LXXI, a. 1839 — aveva alla *Soc. Philomatique — Bull.* a. 9 — discusso le esperienze del Rumford, di T. Thomson e del Murray; il Biot, diciamo, non ha una parola su la conduttività dei liquidi.

E nemmeno l'ha su la conduttività dei gas, studio invero più recente dell'altro, tanto che il Pouillet ancora nella quinta edizione - apparsa nel 1847 — del suo bel trattato *Éléments de Physique Expérimentale et de Météorologie* — T. II, pag. 544 — scriveva che « le seul genre d'expériences qui prouve la mauvaise conductibilité des gaz, et particulièrement de l'air, est la lenteur des réchauffements et des refroidissements des corps qui sont protégés par des couches d'air, quand la mobilité de l'air lui même est empêchée par des corps trés-divisés, comme la paille, la laine, la soie, l'édredon et toutes les substances filamenteuses ». Questo scriveva nel 1847 il dotto e grande fisico francese, il quale avrebbe al più potuto aggiungere che si sapeva solo come un corpo si raffreddasse nell'idrogeno molto più prontamente che non negli altri gas.

Disposizione del Despretz per lo studio su la conduttività dei liquidi.

Si deve venire al 1860 per trovare delle esperienze intese a misurare la conduttività dei gas, ed al 1862 per trovarne la teoria: le une complesse e — in alcuni punti sostanziali — di dubbia interpretazione; l'altra — di getto — mirabile e completa.

Le esperienze, comunicate alla *Academie der Wissenschaften* di Berlino il 30 luglio 1860 ed il 7 febbraio 1861, e riferite nella monografia *Ueber die Verbreitung der Wärme in der Gasen* — *Pogg. Ann.* a. 1861, T. CXII, p. 497 a 548 — sono del Magnus, il quale — riscaldando, mediante acqua mantenuta in ebollizione da una correnre di vapore, la testa superiore di un recipiente cilindrico verticale, in vetro, che veniva riempito successivamente d'idrogeno, di aria, di gas ammoniaco, di cianogeno, ecc.; mantenendo il recipiente in un ambiente di acqua a 15°; ed osservando la temperatura indicata, durante il regime stazionario, da un termometro posto entro il gaz e difeso, con opportuno schermo, dall'irraggiamento diretto dell'acqua calda soprastante — aveva ritenuto di misurare appunto il potere conduttivo, mentre in realtà, come osservava poi il Buff — nel suo acuto ed accurato lavoro sperimentale « *Ueb. die Fähigkeit der Luft und des Wasserstoffgasses, die Wärme zu leiten und deren Strahlen durchzulassen* », in *Pogg. Ann.*, a. 1876, T. CLVIII, pag. 177 a 213, compiuto con disposizioni alquanto diverse da quelle del Magnus — le esperienze di questi potevano spiegarsi con la grande diatermaneità dell'idrogeno e con quella scarsa degli altri gaz.

Completa invece e perfetta la teoria, uscita dalla mente sovrana del Clausius — « *Ueber die Wärmeleitung gasförmiger Körper* », in *Pogg. Ann.*

a. 1862, T. CXV, pag. 1 a 56 — e della quale — pur conservando ancora sufficiente rigore — il Von Lang — « *Zur dynamischen Theorie der Gase* » II, *Sitzungsberichte* dell'Acc. di Vienna, T. LXV, sez. II, a. 1872, p. 415 — semplificava i calcoli complessi con un ingegnoso procedimento, esposto anche — togliendolo dall' *Einleitung in die theoretische Physik* dello stesso Von Lang, Braunschweig, 1873 — dal Violle — pag. 176 a 180 — nel suo lavoro *Sur la théorie dynamique des gaz* pubblicato nel *Journal de Physique* — a. 1877, pag. 73 a 83 e 175 a 186 —.

Ritornando alla storia della parte sperimentale di cotesto studio, noteremo che esso appartiene pressochè completamente alla scienza tedesca: non si saprebbe indicare, all'infuori di essa, se non quel lavoro del Crookes — « *On Heat conduction in highly rarefied air* », in *Nature*, gennaio 1881 — nel quale egli sottoponeva ad esperimento dell'aria grandemente rarefatta — fino a 2 milionesimi di atmosfera — riscontrando come la velocità di riscaldamento diminuisca rapidamente con la pressione — al contrario di quanto avviene a pressioni più forti — e ritenendosi autorizzato a dedurre che negli spazi planetari la perdita di calore per irraggiamento deve essere estremamente debole.

Tutti gli altri lavori in argomento appartengono, come si disse, alla scienza tedesca. Ad essa infatti si devono i lavori — tra i quali alcuni sono veramente classici — del Narr (1), di Kundt e Warburg (2), dello Stefan (3), del Winkelmann (4), del Graetz (5), dell'Eichhorn (6), del Müller (7), a cui aggiungeremo gli altri del Plank (8), dello Smoluchowski (9), dell'Eckerlein (10), nonchè uno dello Schleiermacher (11), ed aggiungeremmo pure di

(1) Tesi di laurea, Monaco 1870. Riguarda il raffreddamento e la conduttività dell'aria, dell'azoto, dell'anidride carbonica e dell'idrogeno: « *Ueb. die Erkaltung una Wärmeleilung in Gasen.* ». È pubblicata integralmente in *Pogg. Ann.*, a. 1871, T. CXLII, p. 523 a 158 —.

(2) Riguarda l'attrito e la conduttività nei gas rarefatti: « *Ueber Reibung und Wärmeleitung verdunnter Gasen* », in *Pogg. Ann.* a 1875, T. CLV, p. 337 a 365 e 525 a 550; stesso anno, T. CLVI, p. 177 a 211. È lavoro di teoria insieme e di esperienze riguardanti in particolare — per l'aria, l'anidride carbonica e l'idrogeno — la conduttività relativa ed il coefficiente di conduttività assoluta — che è la quantità di calore che passa in un secondo attraverso ad un centimetro quadrato di un muro dello spessore di un centimetro, a faccie piane parallele aventi la differenza di temperatura di un grado. —

(3) Su la conduttività in generale. « *Untersuchungen über die Wärmeleilung in Gasen* », in *Sitzungsber.* dell'Acc. di Vienna, 2 memorie: l'una 1.° sem. 1872, T. LXV, sez. II, pag. 45 a 69, e l'altra 1.° sem. 1875, T. LXXII, sez. II, pag. 69 a 101.

(4) Su la dipendenza della conduttività dalla temperatura, considerando l'aria, l'anidride carbonica e l'idrogeno: « *Ueber die Abhängigkeit der Wärmeleitung d. Gase von d. Temperatur* », in *Wied. Ann.* a. 1883, T. XIX, p. 649 a 691, e « *Neue Versuche über die Abhängigkeit*, ecc. »., a. 1886, T. XXIX, p 68 a 113; su la conduttività in generale: « *Ueb. d. Wärmeleit. d. Gase* », stessi Annali, a. 1891, T. XLIV, p. 177 e 429; e sul valore assoluto per l'aria: « *Ueb. d. absol. Werth, d. Wärmeleït, d. Luft* », a. 1893, T. XLVIII. p. 180 a 187.

(5) Identico argomento della prima monografia del Winkelmann testè citata: « *Ueber die Wärmeleitungsfähigkeit von Gasen und ihre Abhängigkeit von der Temp.* » in *Wied. Ann.*, a. 1881, T. XIV, p. 232 a 260.

(6) Identico argomento ed identico titolo della Memoria del Graetz testè citata. Riguarda in particolare l'aria, l'idrogeno, il gaz illuminante, l'anidride carbonica: *Wied. Ann.*, a, 1890, T. XL, p. 697 a 719.

(7) Riguarda il valore assoluto per l'aria: « *Experimentelle Untersuchungen über die absolute Wärmeleitungscontante der Luft* ». È una *Inauguraldissertation*, letta a Monaco nel 1896. Se ne trova un ampio estratto, comunicato dall'autore, nel T. LX degli Annali di Wiedemann, pag. 82 a 118, anno 1897.

(8) Relativo all'aria, azoto, gaz ammoniaco, ossido d'azoto, gas illuminante. In *Sitzungsber.* dell'Acc. di Vienna, a. 1876, T. LXXIV, sez II, p. 215 a 236.

(9) Medesimo argomento ed identico titolo del lavoro di Kundt e Warburg. *Wied, Ann.*, a. 1898, T. LXIV, p. 101.

(10) Relativo all'influenza che le basse temperature esercitano sul potere conduttivo, con applicazioni all'aria, all'idrogeno, all'anidride carbonica: « *Ueb. d. Warmeleitungsfähigkeit d. Gase, u. ihre Abhängigkeit von der Temp.* » in *Drude's Ann.*, a. 1900, T. III p. 120 a 155.

(11) Relativo al vapore di mercurio: « *Ueb. d. Wärmeleitungsfähigkeit des Quecksilberdampfes* », in *Wied. Ann.*, a. 1889, T. XXXVI, p. 346 a 357.

quest'ultimo la monografia *Ueb. die Wärmeleitung der Gase* (1), ove i risultati non ne fossero troppo diversi da quelli pienamente attendibili dal Winkelmann e del Graetz — non per difetto, com'egli suppose, nei procedimenti usati da questi ultimi, le cui conclusioni ebbero, anche, ulteriore conferma dal lavoro ricordato dell'Eichhorn —.

Questo complesso di lavori, a vero dire, non ha bastato perchè le cognizioni si estendessero in modo comparabile a quello verificatosi per tanti e tanti altri rami della stessa termologia. Tuttavia, se i valori bene stabiliti di cui è oggi in possesso la fisica si limitano ad un numero veramente molto ristretto di gas, essi riguardano però i più importanti — l'idrogeno, l'aria, l'anidride carbonica — e bastano perchè siano segnate con sicurezza le linee generali del fenomeno.

Clausius.

Sopratutto hanno fornito un argomento di molto peso alle idee nuove sul calore e su la costituzione dei gaz. La teoria meccanica del calore aveva portato il Maxwell a concludere che il coefficiente di conducibilità di un gaz deve essere indipendente dalla pressione, e Stefan, Kundt e Warburg, Winkelmann, hanno successivamente constatato cotesta indipendenza; la teoria assegnava al coefficiente di conducibilità dell'idrogeno un valore 7 volte maggiore che all'aria, e le misure dello Stefan e degli altri fisici ricordati confermavano cotesto valore con un'approssimazione che diviene stupefacente ove si ponga mente alla enorme difficoltà di coteste ricerche. Sono prove indirette, è vero; ma, appunto perciò, sono di un grande valore.

La difficoltà cui si accennava testè viene in parte dalla trasmissione del calore operata dalle pareti del recipiente, e più dal modo ordinario di riscaldamento dei fluidi che è per *convessione*, ossia per trasporto di materia dovuto alle correnti che si stabiliscono nella massa fluida a cagione della maggiore leggerezza specifica delle parti riscaldate. Sono le correnti che avevano formato oggetto di studio per il Vettin e lo formarono anche negli ultimi anni per parte dello Czermak che le rendeva visibili nell'aria valendosi del fumo di tabacco e nell'acqua mediante inchiostro, così da poterle fotografare; che lord Raylaigh studiava nei microscopici turbini che si generano intorno alle aste metalliche riscaldate — anche solo leggermente —; e su le quali faceva recentemente lavori molto geniali il Bénard (2), valendosi di polveri, di raggi luminosi, di interferenze, ed arrivando a formulare leggi in una materia affatto nuova come oggetto di studio, e intorno alla quale egli aveva ben ragione di scrivere,

(1) *Wied. Ann.*, a. 1888, T. XXXIV, p. 623 a 646.

(2) « *Étude expérim. des courants de convection dans une nappe liquide* », in *Journ de Phys.*, a. 1900, p. 513 a 524; e « *Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide — Méthodes optiques d'observation et d'enregistrement* », pure in *Journ. de Phys.*, a. 1901, p. 254 a 266.

parlando del trasporto del calore per convessione : « Il semble que on ne s' en soit préoccupé que pour l'éviter, lors des mesures de conductibilité thermique ».

Eppure si tratta anche qui di uno dei fenomeni più imponenti e più importanti che la natura ci pone sott'occhio. È infatti nella *convessione* il meccanismo della grande propagazione del calore alla superficie del globo. « Una parte del calore dei tropici è trasportata verso i poli da un messaggero aereo »; l'aria raffreddata ritorna all' equatore, e grazie a cotesti « due fiumi che, per la rotazione della terra, mutano incessantemente di letto » avviene che « sia assicurata una distribuzione più uniforme del calore terrestre » (1). Ufficio, cotesto, in cui all'azione dei venti un'altra se ne accoppia ancora più potente, e della quale pure sono incalcolabili i benefici, poichè « le froid des latitudes polaires serait plus rigoureux, la chaleur des latitudes tropicales serait plus forte, et ces extrêmes feraient périr sans doute la plupart des êtres actuellement en existence, si les courants océaniques ne portaient l'eau des pôles á l'equateur, celles de l'equateur aux pôles, et ne travaillaient ainsi constamment à l' équilibre des températures » (2).

Autografo di Clausius.

(Bonn $\frac{10}{7}$ 82, Lieben Herr Folie, Mit der Frage über die Abkühlung der Erde und die Dicke und Festigkeit der gebildeten Erdkruste hat sich besonder William Thomson beschäftigt und ich erlaube mir Ihnen die betreffenden Abhandlungen unter Kreuzband zuzusenden, mit der Bitte, sie mir später, wenn Sie sie nicht muss brauchen, wieder zurücksuzenden. Mit freundlichen Grüsen, Ihr R. Clausius).

(Bonn, 10. 7. 82. Caro Signor Folie, Della questione sul raffreddamento della Terra e lo spessore e la stabilità della supposta crosta terrestre si è occupato specialmente William Thomson ed io mi permetto di mandarle sotto fascia le relative memorie, con la preghiera di rimandarmele più tardi quando Ella non ne avrà più bisogno. Con cordiali saluti, Suo R. Clausius).

Ritratto ed autogr. venn. cortes. fav. dall'ill. sign. F. Folie.

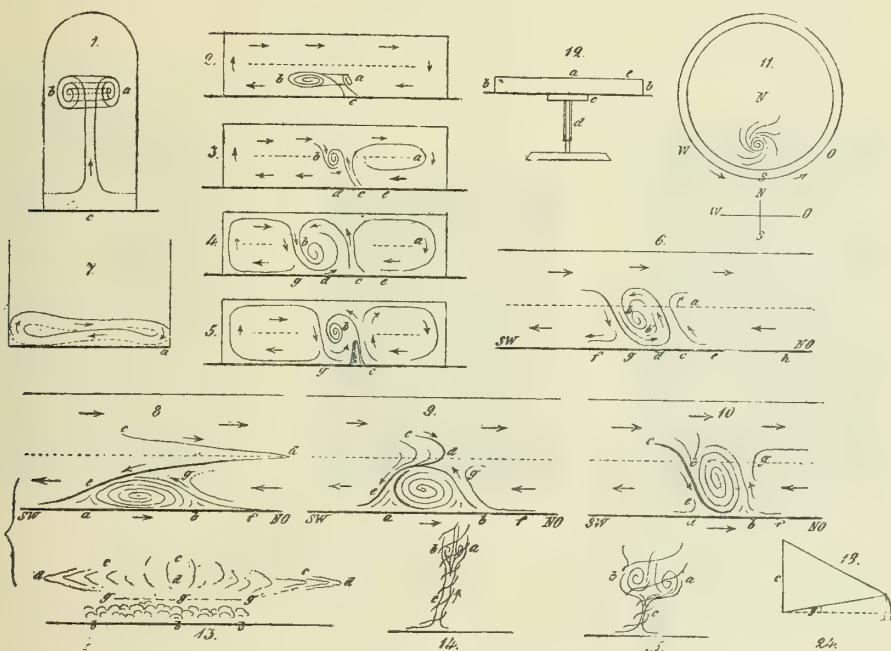
Tanta è l'importanza che la convessione ha nella natura : soltanto per essa il calore inviato dal sole al nostro pianeta ne è la vita. Malgrado ciò, il secolo XIX — si può dire — non se n'è occupato.

*
* *

Se in alcuni rami dello studio sui fenomeni del calore esso non ebbe sviluppo pari a quello che trovò in altri, e — conviene dirlo — proporzio-

(1) TYNDALL, *The Heat.*
(2) RÉCLUS, *La Terre,* Vol. II.

nato alla importanza di quei rami, si deve tuttavia constatare come l'opera del secolo XIX in cotesta parte della fisica sia stata di una ampiezza e di una profondità bastevoli a mettere la scienza su una base sicura, ed a darle una potenzialità alla quale non è possibile assegnare confini. Sono innumerabili i lavori di indole sperimentale sul calore compiuti in quei cento anni, immensi i dati sperimentali che si andarono per essi accumulando.

Ma la loro importanza va ben oltre l'ambito della nozione positiva a cui si riferiscono, e della certezza portata in essa dal controllo che i risultati di

Gli studi del Vettin sui moti di convessione negli aeriformi e su la teoria dei venti.

Riprod. delle fig. 1 a 15 della Tav. III, T. CII, a. 1857 dei *Pogg. Ann.*, monog. orig. del Wettin « *Ueb. den Aufsteigenden Luftstrom, die Entstehung des Hagels und der Wirbel-Stürme* » pag. 246 a 255.
Legg. espl. — Fig. da 1 a 7. Correnti ottenute riscaldando l'aria in basso med. una lamp. ad alcole, e rese visib. med. fumo di tabacco. Fig. 11 e 12 appar. girev., in vetro, per stud. l'infl. del moto di rotaz. Le altre fig. dimostr. l'applic. dei moti alla spiegaz. dei venti.

una serie di esperienze danno di quelli di altre. La grande importanza di cotesta opera insigne sta nell'avere fornito alla termodinamica quelle prove di esperienza senza le quali essa non avrebbe potuto portare alla scienza ed all'industria il grande beneficio che viene dall'avere una guida universale ed indiscutibilmente sicura. Non vi è fatto, — per rimanere, al momento, nel campo della scienza pura — che non riceva da essa la sua illustrazione, e tutti trovano in essa il loro coordinamento. Nè ciò è a dirsi soltanto dei fatti del calore. « Fino dai primi tempi del progresso dell'elettricità, dell'elettro-chimica, del calore di combinazione e di diversi altri rami della scienza . . . . si constatarono fatti curiosi sulla trasformazione e dissipazione dell'energia » (1). Ebbene, per tutti la chiave dell'interpretazione fu fornita da cotesto monumento grandioso, su la cui base brillano, di un fulgore che non potrà affievolirsi per volgere di tempo e per progredire di civiltà, i nomi di Nicolò Leonardo Sadi Carnot e di Roberto Mayer, e, intorno ad essi, sfolgoranti non meno, quelli di

(1) Tait, *Esquisse Historique de la Théorie Dynamique de la Chaleur*, Parigi, 1870.

Giacomo Prescott Joule e di Gustavo Adolfo Hirn, di Rodolfo Clausius e di lord Kelvin, di G. Clerk Maxwell e di Ermanno von Helmholtz ,dell'inglese Tait e del danese Colding.

Che se a noi non è concesso dire intorno ad essa molto di più di quanto fu scritto nella Introduzione (1) ed a proposito delle sorgenti di calore (2), non è però possibile che non si accenni — sia pure molto sommariamente — ad alcuni lavori che ad essa si riferiscono, e sui quali sarebbe stato un fuor d'opera il soffermarsi in quelle prime pagine.

Così dobbiamo ricordare il Rankine che nella memoria letta nel febbraio 1850 alla Società Reale di Edinburgo — *Trans.*, Vol. XX, p. 147 — par-

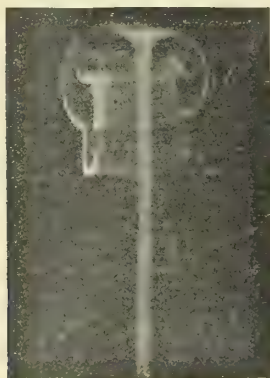



Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

Fotografie di Czermak per lo studio dei moti di convessione.

Riprod. delle fig. 2, 4 e 10 della Tav. VII, T. 50, a. 1893, dei *Wied Ann.*, monog. orig. dello Czermak « *Ueb. wärme Luft-una Flussigkeitsströmungen.* » pag. 329 a 334.

Legg. espl. — Fig. 1 e 2: correnti nell' aria, rese visib. med. fumo di tabacco: Fig. 3 sim. nell' acqua, con inchiostro. Notev. la fig. 2 riproduz. della forma *a fungo*, molto difficile a conservarsi per un certo tempo.

tendo dalla ipotesi dei *turbini molecolari* arrivava a dedurre l'equazione generale dell'azione meccanica del calore appoggiandosi sui principi noti della dinamica, che « in una lunga serie di memorie applicava i principi della termodinamica a diverse questioni pratiche relative alla macchina a vapore e ad altre macchine nelle quali il calore è la forza motrice, e che infine è l'autore del primo trattato speciale in cui la termodinamica sia redatta dal punto di vista delle sue applicazioni pratiche » (3).

Dobbiamo pure soffermarci su la parte capitale avuta dal Clausius, e lo faremo con le parole usate da un eminente fisico tedesco, il Riecke, nella commemorazione tenuta il 1 dicembre 1888 all'Accademia di Gottinga, e che togliamo da un lavoro (4) dell'illustre Direttore dell'Osservatorio di Bruxelles, il traduttore ed interprete fedele del pensiero del Clausius: « Mayer aveva esteso il principio dell'equivalenza a tutte le forze fisiche; Joule aveva perfezionato, con zelo instancabile, i metodi per la verifica sperimentale di esso; Helmholtz, partendo dai principi generali della meccanica, aveva posto il principio della conservazione della forza (oggi si direbbe della conserva-

(1) P. 17 a 37.
(2) Pag. 256 e 257.
(3) TAIT, *Esquisse*, ecc. pag. 37.
(4) F. FOLIE, *R. Clausius. Sa vie, ses travaux et leurs portée méthaphysique*, Bruxelles, 1890.

zione dell'energia) o della invariabilità della somma delle forze vive e delle forze di tensione, come principio da applicarsi a tutti i procedimenti della natura; l'applicazione di questo principio ai fenomeni dell'elettricità e del magnetismo l'aveva condotto ad una serie di relazioni nuove ed importanti. E tuttavia, nel 1849, W. Thomson si atteneva ancora all'antica teoria del calore, ritraendosi davanti ad innumerevoli difficoltà che gli sembravano insormontabili nella nuova, ove questa non fosse stata riedificata completamente su basi nuove. È questo il momento in cui Clausius lavorò, con mano sì felice, allo sviluppo della scienza, deducendo con lucidezza le conseguenze della nuova teoria, rigettando animosamente le parti in ruina dell'antica, e riconoscendo, col colpo d'occhio del genio, negli errori stessi di essa le traccie della verità. La memoria nella quale sono esposti i principi della nuova teoria fu presentata da Clausius all' Accademia di Berlino nel febbraio 1850.

Roberto Mayer.
Ritratto ed autografo cortesemente favoriti dal figlio, sig. dott. Paolo Mayer.

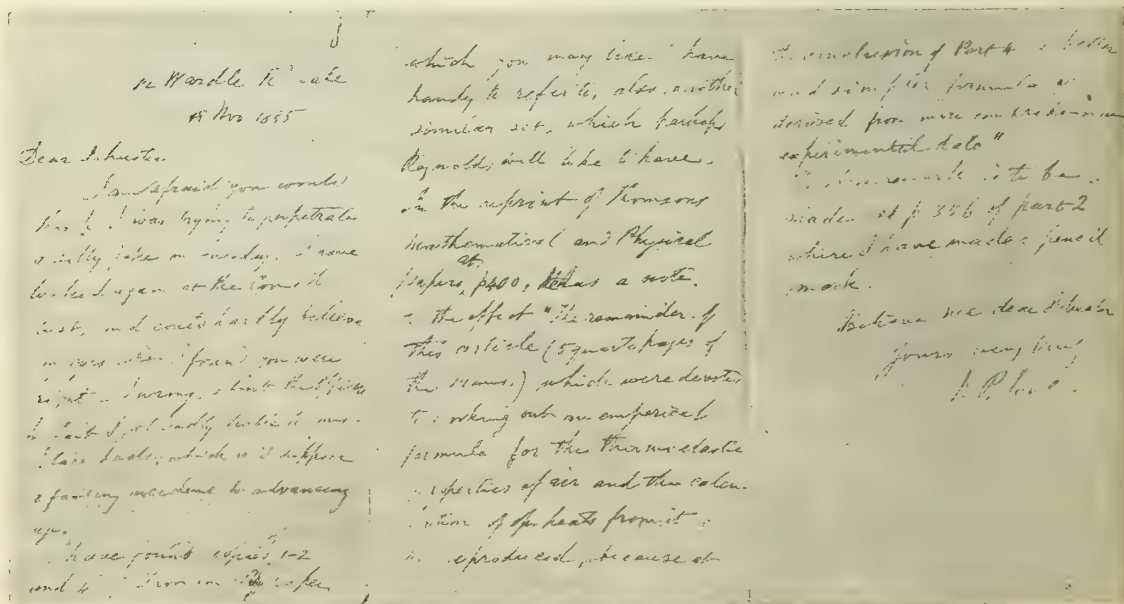
Egli fece vedere, e sta in ciò il punto fondamentale della sua memoria, che per provare il teorema di Carnot è necessario introdurre nella teoria del calore un principio nuovo, interamente indipendente dall'altro. Egli eresse in principio questo fatto che il calore tende sempre a equilibrare le differenze di temperatura, a passare dai corpi più caldi ai corpi più freddi. Di qui sembra ben naturale il rifiutarsi ad ammettere che il calore passi da sè, vale a dire senza dispendio di energia o senza qualche altra modificazione, da un corpo freddo ad un corpo più caldo. Ed è da cotesto principio che Clausius dedusse per via indiretta il teorema di Carnot.

.... Per noi, cresciuti nelle dottrine della teoria meccanica del calore, non è molto facile il formarsi un'idea esatta del lavoro intellettuale che si nasconde nella memoria di Clausius. Noi dobbiamo tener presente come in Carnot, e in Clapeyron che diede alle idee di lui la forma analitica, la verità e l'errore s'intreccino nella maniera più intima ».

A quella grande memoria ne tennero dietro altre numerosissime, in cui, sempre dal punto di vista della termodinamica, furono presi in considerazione in maniera speciale le proprietà dei gaz: vennero poi quelle su la teoria matematica dell'elettricità, costituenti nel complesso una vera teoria meccanica di cotesto agente misterioso (1).

(1) V. *Théorie Méc. de la Chaleur*, versione di Folie e Ronkar, seconda edizione, tradotta dalla terza dell'originale tedesco. Il T. I contiene lo sviluppo delle formole che si deducono dai due principî fondamentali e diverse applicazioni; il T. II costituisce la teoria meccanica dell'elettricità, pure seguita dall'applicazione degli stessi principi fondamentali della termodinamica.

È questo — poichè l'argomento è parte viva della Termodinamica — il luogo nel quale è a rammentare in modo apeciale un altro grande titolo del Clausius di fronte alla scienza moderna: l'avere egli stabilito la teoria cinetica su la costituzione dei gaz,(1) secondo la quale per il fisico un corpo gassoso « è un corpo di cui le particelle si slanciano senza posa in linea retta con velocità di centinaia di metri per secondo attraverso lo spazio, e si urtano le une contro le altre come dei piccoli proiettili, rimbalzando contro le pareti dello spazio da esse occupato » (2); teoria per la quale il fisico non solo può rendere ragione di tutti i fatti relativi a cotesto stato della materia tanto difforme dagli altri, ma stabilire *a priori* quanto logicamente può dedursi da essa.

Tra i grandi che alla termodinamica portarono il suggello dell' esperienza, oltre il Joule,

Ritratto di Joule e fotografia di autografo cortesemente favoriti dall'eminente prof. A. Schuster della *R. I.*

Caro Schuster, Temo che avrete creduto che io abbia voluto fare uno stupido scherzo martedì. Ho guardato ancora la lista del Consiglio, e non potevo quasi credere ai miei occhi, vedendo che voi avevate ragione, io torto, riguardo agli officiali. Infatti mi accade troppo facilmente di spostare i fatti, il che, m'immagino, è una debolezza non rara in chi invecchi. Ho trovato qualche copia degli scritti 1-2 e 4 di Thomson e miei, che, forse, vi piacerà di avere per poterli consultare con comodo; anche un'altra serie simile, che forse Reynolds sarà contento di avere. Nella ristampa degli Scritti Matematici e Fisici del Thomson a pagina 400 egli ha la seguente nota: — « Il resto di questo articolo (5 pagine, in quarto, degli Atti) ch'era dedicato a elaborare una formola empirica per le proprietà termo-elastiche dell'aria e il calcolo dei calori specifici da esse derivati, non è qui riprodotto, perchè alla fine della parte 4 si deduce una formola migliore e più semplice da più ampî dati sperimentali. La suddetta osservazione si deve fare a pagina 356 della parte seconda dove ho fatto un segno con la matita. Credetemi, caro Schuster, Sinceramente vostro, J. P. Joule).

N. B. La fotografia dell'autografo era accompagnata dall'illustre prof. Schuster con una nota esplicativa della prima parte, che pubblichiamo tradotta:

« Joule si era congratulato con me per la mia nomina a segretario della *Royal Society* di Londra. Quando io negai il fatto, egli m'assicurò di essere certo di averne visto l'annuncio in qualche luogo. Scoprendo il suo errore, mi scrisse questa lettera. Il resto si riferisce a qualche mia domanda intorno all'ordine sperimentale in qualche parte del lavoro. A. S ».

(1) « La première idée en revient à Daniel Bernoulli. Elle fut reretrouvée par Joule, Krönig et Clausius. Ce dernier affirme l'avoir eue dès 1850, et nul de ceux qui connaissent la haute valeur scientifique et morale du maître ne songera un instant à mettre cette affirmation en doute. Mais Clausius avait toujours eu pour principe de ne rien publier qui ne fût aussi parfait que possible; aussi absorbé par des travaux beaucoup plus urgents sur le développement des principes fondamentaux de la théorie mécanique de la chaleur, n'aborda-t-il la théorie cinétique des gaz qu'après Joule et Krönig. La sienne cependant est beaucoup supérieure à celle de ses devanciers ». FOLIE, *op. cit.*, p. 40.

(2) TYNDALL, *The Heat.*

all'Hirn, all'Edlund (1) — ed agli altri già menzionati parlando delle sorgenti del calore — vuol essere messo ad un posto d'onore il Rowland, il professore all'Università John Hopkins di Baltimora di cui la scienza piangeva recentemente la perdita. Egli presentava nel 1879 all'Accademia americana delle Scienze, a Boston « una lunghissima ed elaborata Memoria — di centoventicinque pagine — intitolata *On the Mechanichal Equivalent of Heat with subsidiary Researches on the variation of the Mercurial from the Air Thermometer, and on the variation of the Specific Heat of Water.* » Così egli stesso l'annuncia in un lavoro — « Relazione critica sulle varie determinazioni dell'equivalente meccanico della Caloria », Venezia, Antonelli, 1882 — presentato — senza indicazione d'autore e contraddistinto col motto *Veritas vos liberabit* — al *Reale Istituto Veneto* in occasione di un concorso da esso bandito; lavoro, al quale veniva — largamente meritato — conferito il premio.

Tra le molte determinazioni fattesi nell'ultimo trentennio quella del Rowland si leva alla maggiore altezza.

È veramente degna del grande allievo dell'Helmholtz, e con essa potremmo chiudere questi cenni se non dovessimo ancora notare come ci sia impossibile — tante sono esse! — enumerare le vie — dirette od indirette — oggi a disposizione della scienza e per le quali, si è arrivati — o si può giungere — alla determinazione dell'equivalente dinamico della caloria (2), e come la storia della termodinamica non sia senza episodi di controversie e polemiche — pur troppo

Kelvin
June 6, 1904

Ritratto ed autografo posseduti dall'autore.

(1) V. Introduzione.

(2) Non crediamo di poter dare più succintamente una, idea esatta della moltidudine di metodi a cui si accenna, che togliendo dalla *Relazione critica* del Rowland il seguente prospetto:

DIRETTI	Calore ed	energia meccanica	1.° Processi reversibili	Dilatazione o compressione. Macchina magneto-elettrica messa in azione da una pila termoelettrica in un circuito di resistenza nulla.
		energia di gravitazione	2.° Processi irreversibili	Attrito, percussione, viscosità, ecc, ecc. Calore prodotto da una corrente magneto-elettr., o da una macchina elettrica.
	Calore ed energia elettrica		1.° Processi reversibili	Corrente termo-elettrica. Fenomeni piroellettrici.
			2.° Processi irreversibili	Riscald. d'un filo prod. da una corr. elettr., o calore prodotto dalla scarica di una batteria elettrica.
	Calore ed energia magnetica		1.° Processi reversibili	Magnetismo prodotto da una corrente termoelettrica in un circ. di resistenza nulla.
			2.° Processi irreversibili	Riscaldamento di un magnete quando si smagnetizza.

anche — non senza ingiustizie, contro le quali, però — è caro il notarlo — insorse generosa una voce molto autorevole (1) da quella stessa terra da da cui erano partite recriminazioni — inesplicabili — e censure — sofistiche —.

Ciò non deve meravigliare: le ragioni ne sono nella importanza stessa della Termodinamica.

Essa — lo diremo con un eminente scrittore di cose di scienza, e scienziato egli stesso, il Guillemin —, « cotesta nuova branca, o piuttosto cotesta nuova applicazione della meccanica razionale, può considerarsi come l'opera capitale del secolo decimonono nel dominio delle scienze fisico-matematiche ».

Sconvolgendo idee — in tutto od in parte — universalmente ammesse come dogmi, la Termodinamica doveva operare una vera rivoluzione nei domini della scienza ed in quelli delle applicazioni industriali. Quando mai le grandi rivoluzioni si compirono senza riserve, senza invidie, senza lotte?

INDIRETTI	Energia raggiante	Calore	Assorbimento operato da una superficie annerita. Irradiazione da una superficie riscaldata.
		a) Energia meccanica o di gravitazione. Radiometro di Crookes.	
		b) Energia elettrica. Pila termo-elettrica.	
		c) Energia magnet. Pila termoelettr. con un elettromagnete nel circuito.	
	Energia chimica	Calore	Combustione, ecc. Dissociazione. Riscaldam. d'un filo med. la corr. di una batteria elettr.
		a) Energia meccanica o di gravitazione	Esplosione della polvere da cannone. Macchina elettro magnetica mossa da un batteria galvan. Galvanoplastica med. una macchina magneto-elettrica.
		b) Energia elettrica	Correnti prodotte da batterie.
		c) Energia magnetica	Elettro-magnete magnetizzato da una corrente elettrica.
	Energia di capillarità	Calore	Calore prodotto quando un liquido è assorbito da un solido poroso.
		a) Energia meccanica o di gravitazione	Movimento di un liquido per capillarità o macch. capillare di Lippmann.
		b) Energia elettrica . . .	Correnti elett. prod. da un'az. capill. alla super. del merc.
		c) Energia magnetica	
	Energia elettrica	Calore	Calore generato in un circuito da una corr. elettrica. Correnti termo-elettriche.
		a) Energia meccanica o di gravitazione	Macchina magneto-elettrica od elettro-magnetica. Attrazione elettrica.
		b) Energia magnetica	Elettro-magnete.
	Energia magnetica	Calore	Calore generato magnetizzando un magnete.
		a) Energia meccanica o di gravitazione	Armatura attratta da un magnete permanente.
		b) Energia elettrica	Corrente indotta smagnetizzando un magnete.

Sul quale prospetto vogliono farsi due osservazioni. L'una si è che ciascuno dei metodi indicati sopra può venire applicato in diverse maniere: alcuni, anzi, hanno realmente servito ad una vera moltitudine di determinazioni: basti ricordare tutte quelle dell'Hirn, del Joule, del Rowland eseguite col primo e col terzo, e quante siano state basate sul rapporto delle due caloricità specifiche dei gaz e sulla velocità di propagazione del suono. La seconda si è che dall'epoca in cui il Rowland compilava cotesto specchio, i mezzi sono cresciuti; così ad esempio la fisica allora non aveva ancora sperimentato con le onde elettriche, nè l' elettrotecnica possedeva i *trasformatori statici* ed i *convertitori rotativi*, od aveva perfezionato gli *accumulatori*.

(1) I lavori del Clausisus suscitarono obbiezioni ed opposizioni per parte di uomini tra i più eminenti — l'Hirn, il Maxwell, F. Kohlrausch, il Tait, Guglielmo Weber —. Ora, il Clausius rispose sempre con la maggiore correttezza anche quando — come nel caso del Tait — avrebbe potuto avere ragione di qualche risentimento: aggiungiamo — citando, per la sua grande competenza ed autorità, il Folie — che « il n'est jamais arrivé à Clausius, ce qui arrive en matière scientifique à tous les inventeurs, de devoir revenir sur une des nombreuses assertions qu'il a émises dans la théorie mécanique de la chaleur, qui, avec ses applications à l'électricité, a fait l'objet constant, si non exclusif, de ses travaux, et le fond de son oeuvre. Peut-être certains

VII.

Applicazioni.

Nel 1890 — non è ancora possibile saperlo per il 1900 — la potenza collettiva delle macchine a vapore in azione nel mondo intero ammontava a circa cento milioni di cavalli dinamici: ritenendo che la potenza di un cavallo dinamico uguagli quella di cinque uomini, il lavoro ottenibile dalle macchine a vapore sarebbe stato uguale a quello fornito da mezzo miliardo di uomini — numero a cui corrisponde quello di due miliardi e mezzo, ossia, all'incirca, di una popolazione due volte maggiore di quella del globo.

A codesto calcolo — di spirito tutto americano, ma che non è altro se non la traduzione in cifre di un pensiero scritto sul monumento, che si erge nella gloriosa Abbazia di Westminster, dedicato a Giacomo Watt — calcolo che facciamo su la falsariga del Thurston (1), si può muovere una osservazione, la quale si riassume in una domanda: vale l' uomo a sostenere una continuità di lavoro quale è quella di cui è suscettibile la motrice a vapore? Normalmente il lavoro dell' uomo si limita ad un terzo della giornata: per la motrice a vapore non v' ha nemmeno — per periodi lunghissimi — il bisogno della interruzione.

Il *The Rocket* di Giorgio Stephenson (1829).

La domanda dice senz'altro quale imponente modificazione dovrebbe farsi al calcolo dell' eminente direttore del *Sibley College* della *Cornell University*.

Milioni di esseri umani sono emancipati dalla fatica materiale, e la potenza meccanica dell'umanità era — già nel 1890 — almeno decuplicata.

opuscules, peu connus en dehors de l'Allemagne, qu' il a écrit sur des sujets d'optique, sont-ils sujets à quelques critiques, de même que ses idées théoriques sur la nature de l'électricité. Mais il a réfuté victorieusement toutes celles qu' on a tenté d'adresser à la Théorie de la chaleur ». *R. Clausius. Sa vie*, ecc.

Più acremente ed ingiustamente fu attaccato il Mayer. Pur tacendo della pena che egli deve avere provato vedendo W. Thomson esitare — esitò fino al 1849 — nell' ammettere il suo principio, è a ricordarsi che il Tait, in un punto del suo *Schizzo storico* parla dell'opera di quell'uomo insigne in un modo che rasenta quasi lo sprezzo. Ed il Joule — a proposito di un corso di conferenze tenuto nel 1862 dal Tyndall alla *Royal Institution* — dirigeva al *Philosophical Magazine* una lettera della quale, senza che vi siano negati i meriti del grande medico di Heilbronn, è a dirsi che la figura di lui ne esce forse — non giustamente — un po' diminuita. A mantenere nella loro luce vera i meriti del Mayer, il Tyndall — che nelle sue conferenze fu sempre perfettamente oggettivo non solo verso il Mayer, ma anche verso tutti gli altri scienziati non inglesi — dirigeva allo stesso periodico — nel settembre del medesimo anno — una lettera nobilissima che altamente onora, oltre che il Mayer, il suo autore.

(1) Robert T. Thurston, *Traité de la Machine à Vapeur, traduit par Maurice Demoulins. — Paris, Baudry et C.*, 1893.

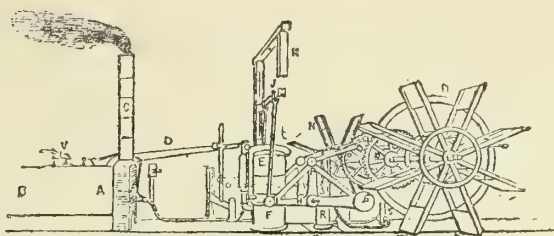
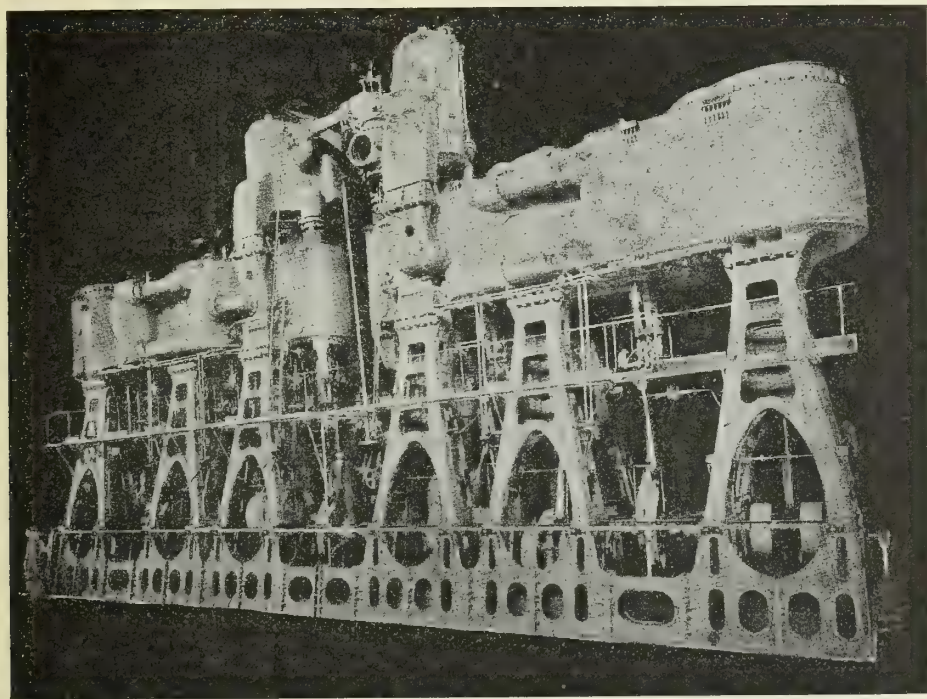
Non basterebbe la sola macchina a vapore a rendere importanti le applicazioni del calore ?

La storia di essa appartiene in gran parte a quella della meccanica: ma in una parte sostanziale è del dominio della storia della fisica, perchè in alcuni lati, è quella stessa della termodinamica.

La grande locomotiva di F. W. Johnstone per la *Mexican Central R.* (1893).

Il principio del secolo XIX trovava la motrice a vapore già molto avanzata, grazie agli studi del Watt (1).

(1) Per quanto sia conosciuta, potrà riescire comoda una cronologia della macchina a vapore fino al periodo del Watt. Lasciando l'eolipila di Erone Alessandrino — 120 a. C. — sono da ricordare il Porta — 1601 —, Salomone di Caus — 1615 — ed il Branca — 1629 — come ideatori di apparecchi, dei quali sembra che la realizzazione non si avesse che a titolo di esperienza e dopo molti anni. Nel 1663 Edoardo Somerset, secondo marchese di Worcester, pubblicava nel « *Century of the Names and Scantlings of Inventions by me already practised* » la descrizione di un apparecchio — *Water Commanding Engine*, come lo aveva chiamato — nel quale col vapore si riesciva ad elevare dell'acqua, che funzionò al castello di Raglan, dimora dell'inventore, e servì per qualche tempo appunto ad elevare acqua a Vauxhall presso Londra. Samuele Morland dava nel 1663 — in un manoscritto, che si trova al *British Museum*, — collezione di Haarlem , a proposito delle proprietà del

Egli nel 1765 aveva fatto la sua maggiore invenzione, il condensatore separato — allo scopo diremo con lui stesso « di permettere al cilindro di rimanere caldo come il vapore che vi entra » —; nel 1776 — ne aveva già parlato prima, in una lettera del marzo 1769, datata da Glasgow e diretta al

Al principio del secolo XIX.
La intera macchina del *Clermont* (1807).

Al principio del secolo XX.
Una delle motrici del *Kaiser Wilhelm II* (1902).

vapore, le dimensioni di una macchina — non solo non costruita, ma nemmeno descritta — capace di elevare quantità determinate di acqua per ora. Nel 1690 il Papin costruiva la sua nota macchina, consistente in un cilindro a vapore nel quale questo sollevava uno stantuffo, ricadente poi per il vuoto formantesi quando il vapore si condensava: proponeva anche l'applicazione di cotesta macchina a far muovere, non solo delle pompe, ma anche delle ruote a pale per battelli. A quelle seguiva nel 1707 un altro tipo del Papin, imitazione di quello che il Savery aveva fatto brevettare nel 1698, presentato nel 1699 alla *Royal Society*, descritto nel *Miners Freind* del 1702, e di cui il Leibnitz — che l'aveva vista funzionare in occasione di un suo viaggio in Inghilterra — aveva mandato al Papin il disegno. Mentre però la macchina del Papin [non ebbe applicazione, di quella del Savery si deve dire che fu la prima, la quale permettesse l'uso nell'industria della potenza immagazzinata nel vapore: era una macchina nella quale — mercé opportune disposizioni di serbatoi, di tubi, di giuoco di chiavette — si poteva rendere continua la elevazione dell'acqua per pressione di vapore. Da una parte i grandi bisogni di prosciugamento dei pozzi delle miniere, dall'altra il costo enorme del funzionamento, le esplosioni — tra cui alcune veramente disastrose — alle quali le macchine del Savery davano luogo per le elevate pressioni a cui obbligavano la profondità dei pozzi, ed il dovere metterle sul fondo o scaglionarne a diverse altezze, tutto cotesto insieme condussero a tentativi di miglioramento. Questi vennero nel 1705 per opera di due meccanici — di Darmouth nel Devonshire — il Newcomen ed il Cawley. La loro macchina — conosciuta col nome di *macchina atmosferica* di Newcomen — aveva per principali caratteristiche un cilindro con stantuffo mosso dal vapore, condensazione mediante la superficie del cilindro, una caldaia distinta e delle pompe separate; essa veniva presto modificata, rendendosi più rapida la condensazione — mercè getto di acqua introdotto nel cilindro — per modo che i colpi di stantuffo da sei ad otto per minuto, quanti erano prima — diventavano da dieci a dodici. Potter — allora garzoncello incaricato della manovra delle chiavette per una macchina del Newcomen, divenuto poi uno tra i più abili ingegneri, ed a cui il Continente dovette l'impianto di molte macchine importanti — nel 1713, con un ingegnosissimo sistema di semplici funicelle, rendeva automatico il comando della distri-

dott. Small di Birmingham (1) — aveva applicato il principio dell'espansione, ed era arrivato a portare altri perfezionamenti di cui diremo fra breve. Il livello della costruzione era giunto a tale che nella motrice del Watt era ridotto a 4 chilogrammi per cavallo e per ora quel consumo che il Watt aveva trovato di 10, quale era riuscito allo Smeaton di ottenere modificando la macchina di Newcomen che ne consumava 30.

Come il Watt avesse potuto giungere a cotesti risultati lo diremo col Thurston. « Watt non era semplicemente un meccanico: era anche un vero fisico e uno sperimentatore sapiente. Egli scoprì che le perdite delle macchine provenivano dalla conduttività e dal potere raggiante dei cilindri, dai loro riscaldamenti e raffreddamenti alternativi ad ogni corsa, dal vuoto imperfetto, dalle fughe nelle tubulature, dal cattivo rendimento delle caldaie. Per ovviare a questi inconvenienti, circondò caldaie e tubi con rivestimenti cattivi conduttori, e fece persino dei cilindri in legno. Lo Smeaton aveva già ricoperto con legno i cilindri ed i loro fondi; Watt aggiunse loro la camicia di vapore. Egli inventò il condensatore separato, chiuse l' alto del cilindro, adottò la macchina a doppio effetto, e ne fece un motore industriale a rotazione, adattandogli un albero, un volante, un regolatore ed una valvola moderatrice, rendendola così, nelle linee generali, quale noi la vediamo oggigiorno. La macchina fu, sostanzialmente completa nel 1784 ».

In cotesto fatto che la macchina a doppio effetto del Watt è, nelle linee generali, la motrice di oggigiorno sta l'elogio più alto che se ne possa fare.

Era ben naturale che i contemporanei del Watt più eminenti nelle lettere e nelle scienze — ricordiamo Walter Scott e Humphry Davy — ne celebrassero il genio.

Ai perfezionamenti per i quali, come fu detto, il principio del secolo XIX trovava già tanto avanti la motrice a vapore, è da aggiungersi l' idea di Gionata Hornblower, che nel 1781 aveva introdotto il tipo « compound », nel quale il vapore di scappamento d'un primo cilindro veniva ad espandersi in un secondo ; principio che, insieme al condensatore del Watt, veniva poi brevettato dal Woolf nel 1804.

Viene da tutto cotesto insieme che la storia della macchina a vapore durante il secolo XIX è quasi esclusivamente una storia di perfezionamenti nei particolari, — specialmente dal lato meccanico e costruttivo — e di sviluppo nelle applicazioni.

Essa — nell'insieme di cotesti lati — non è, pertanto, del compito nostro — come già venne notato — per quanto importanti siano invenzioni come

buzione, elevando a quindici o sedici i colpi di stantuffo per minuto, ed ottenendo una grande regolarità di funzionamento; e Beighton, ingegnere, applicava poco dopo — nel 1718 — ad una macchina costruita a Newcastle — munita di una valvola di sicurezza, la cui idea, si dice, era stata suggerita dal Désaguliers — una disposizione meccanica migliore di quella del Potter. Con questi ed altri perfezionamenti — per i quali merita menzione speciale lo Smeaton, un uomo che, come meccanico, non ebbe rivali, e, come ingegnere, fu forse il più autorevole dei suoi tempi — la macchina a vapore si era diffusa in Inghilterra ed aveva fatto la sua apparizione nel Continente. Essa era a questo punto quando sorse il genio del Watt.

Il lettore troverà fatta accuratamente la storia della macchina a vapore nell'opera del Thurston sopraccitata e nel *The Steam Engine and its Inventors* del Galloway. — Londra, Macmillan, 1881 — dalle quali opere sono desunte per la maggior parte queste note cronologiche: l'ultima delle due opere è specialmente pregevole anche per la copiosa bibliografia.

(1) Farey, *On the Steam Engine* p. 339, in Galloway, *The Steam Engine and its Inventors*, già cit., pag. 179.

quelle del Sickels e del Corliss (1), o perfezionamenti come quelli che si andarono escogitando per raggiungere le grandi velocità volute dal *comando diretto* di apparecchi e meccanismi a rotazione rapida.

Lo è invece l' osservare come — 1841 — si siano studiate le proprietà del vapore d'acqua ed esaminata a fondo la questione dell'espansione, il cui grado è intimamente collegato con la utilizzazione dell'energia e perciò col capitale impiegato e col rendimento, ed alla cui storia si collegano i nomi di Thomas, Farcot, Cavé, Cail; come sia del secolo XIX il concetto del *surriscaldamento* del vapore (2) — primamente, nel 1827, applicato del Becker, meccanico di Strasburgo, e, nel 1828, dal Trevithik a due macchine delle miniere di Cornovaglia, poi, nel 1855, studiato ed applicato dall' Hirn, sperimentato in seguito da Dwelshauvers-Déry, Grosseteste e Hallauer, e di cui è notevole come applicazione quella estesa che

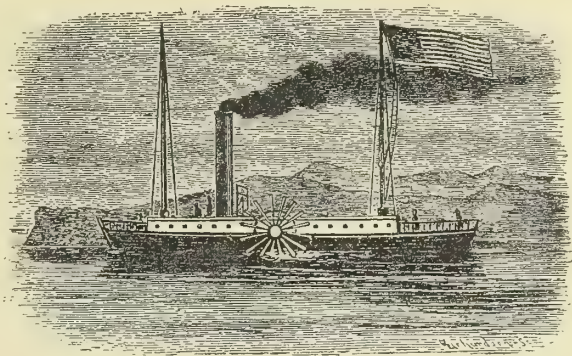



Fig. 1.

Fig. 2.

Navigazione fluviale e lacuale.

Fig. 1. Il *Clermont* (1807). — Fig. 2. Il *Columbus* (1893).

ebbe alle macchine marine nel periodo dal 1860 al 1870, prima cioè che i condensatori a superficie rendessero possibile l'impiego di pressioni molto

(1) Al Sickels si deve la prima macchina con distribuzione *a scatto* che abbia dato risultati realmente pratici. Il Corliss poi nel 1849 ideava modificazioni molto felici alle disposizioni del Sickels, creando il tipo di macchina che ne porta il nome, e che è diffusissimo.

(2) Il vapore di un liquido, generato in un recipiente chiuso — quale è la caldaia — è *saturo*, quando in presenza di esso vi sia ancora del liquido. Mantenendo cotesto vapore sotto la medesima pressione, e continuando a riscaldarlo, le traccie di liquido che esso trascina con sè si vaporizzano a loro volta: quando sono completamente vaporizzate, si ha del *vapore saturo secco*. La sua temperatura è fissa per una data pressione. Se, mantenendo sempre costante la pressione, si continua ancora a riscaldarlo, si ha del vapore ad una temperatura superiore a quella del suo punto di saturazione: è il vapore *surriscaldato*. Nel vapore secco qualunque sottrazione di calore provoca condensazione; in quello surriscaldato la temperatura può abbassarsi senza che avvenga condensazione; esso può fornire calore senza che le sue particelle cessino di essere allo stato aeriforme.

elevate —; come — e sopra tutto — la termodinamica abbia rischiarato «d'une vive lumière la théorie de ces machines dont le rôle est de transformer la chaleur en travail » (1), onde la macchina a vapore ebbe nel secolo scorso quello studio razionale che assistito dall'esperienza — eretta dall'Hirn a vero corpo di scienza — doveva portarla ad un grado sì alto di perfezione (2).

È uno studio mirabile e veramente singolare quello della macchina a vapore, quale è uscito dai lavori del Carnot e dell'Hirn, del Clapeyron e del Clark, del Rankine e dell'Hisherwod ed Emery, del Clausius e del Dwelshauvers-Déry, del Zeuner e del Thurston, del Bertrand e dello Schrötter. È uno studio che ha due rami organicamente diversi: la teoria *generica* e la *sperimentale* — e dei quali tuttavia è unico il frutto —.

Per la prima la motrice è una *macchina ideale*. Il suo organismo è un insieme di parti sprovviste di ogni proprietà fisica e senza azione di sorta su tutto che serve d' intermediario all'energia; per essa il cilindro è impermeabile al calore, e la legge dell'espansione è la legge teorica dell' espansione perfetta, indisturbata.

La teoria sperimentale, invece, considera organi e fatti come sono effettivamente, considera la *macchina reale*; per essa sono punti essenziali le modificazioni portate dai guadagni e dalle perdite dovute all' azione delle pareti, la parte delle quali è quella di un vero serbatoio del calore.

La prima — diremo col Witz — permette uno studio generale del ciclo, la seconda corregge le formole che se ne deducono, introducendo nelle equazioni le influenze perturbatrici sotto forma di fattori numerici.

La distinzione feconda è uscita dalla mente dell'Hirn; nel suo pensiero la teoria generica doveva essere lo strato di fondazione per la teoria sperimentale — indispensabile per la impossibilità « di stabilire *a priori* una teoria corretta della macchina a vapore, e perchè solo una teoria sperimentale stabilita mediante uno studio diretto e scrupoloso dei fenomeni che si producono nelle diverse specie particolari di macchine, può condurre a risultati abbastanza approssimati e permettere di risalire per gradi dal noto allo ignoto ».

Si è grazie a cotesto connubio della teoria sperimentale colla teoria generica che il tecnico, rilevando le curve di funzionamento della motrice mediante quella meraviglia di semplicità che è l' *indicatore di Watt*, e mettendole a riscontro col diagramma teorico opportunamente tracciato, può

(1) WITZ, *Les progrès de la Théorie des machines thermiques*, in vol. III, p. 296, dei *Rapports* del Congresso Internaz. di Fisica tenuto a Parigi nel 1900. — Parigi, Gauthier Villars, 1900.

(2) La importanza dei progressi realizzati nella macchina a vapore appare in tutta evidenza, pensiamo, dal seguente specchietto che togliamo dal Thurston, completandolo con l'ultima cifra che — per ragione dell'epoca di pubblicazione, il 1893 — manca nell'opera dell'illustre americano.

Data	Macchine	Rendimento in kilogrammetri per kilogrammo di carbone
1769	Newcomen costr. Smeaton	21·300
1772	—	36·600
1776	Watt	65·000
1778	Watt, ad espansione	81·000
1830	Cornovaglia	263·600
1880	Compound	304·800
1885	—	335·300
1890	—	365·800
1900	Tripla espansione, costr. Tosi	435·000

fare con sicurezza l'analisi del funzionamento della macchina, confrontarne il rendimento a quello della macchina tipo, « stabilire — diremo ancora col Witz — l'influenza del titolo del vapore immesso, che ha tanta importanza nel funzionamento dei motori dell'industria, l'influenza delle cadute di pressione e di temperatura, quella della espansione incompleta, dello spazio nocivo, della compressione, del surriscaldamento, degli inviluppi di vapore, e di tutte le sottrazioni di calore prodotto dalle pareti ».

Fig. 1.

È questa nelle sue linee generali — e nella sua sintesi — l' opera del secolo XIX sulla macchina a vapore; opera a cui si era aggiunto negli ultimi

Fig. 2.

Navigazione transoceanica.
Fig. 1. Il *Britannia* (1840). — Fig. 2. Il *Kaiser Wilhelm II* (1903).

anni del secolo il frutto di idee nuove con la *teoria matematica*, di cui il germe fu trovato ancora nel Fourier, di cui il Grashof ed il Kirsch hanno gettato le basi (1) e che il Nadal (2) ha sviluppato con mano felice, arrivando ad una formola, mediante la quale è possibile valutare l' utile delle

(1) Il Grashof ha pubblicato i suoi lavori nel periodico *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, a. 1884; il Kirsch ha pubblicato a Lipsia nel 1886 un'opera intitolata *Die Bewegung der Wärme in den Cylinderwandungen der Dampfmaschinen*. V. Witz, *Relaz. citata*, p. 402,

(2) Veggansi *Annales des Mines*, T. XII, 9.ª serie, p. 297 e T. XIV, p. 351; *Revue de Mécanique*, maggio e giugno 1899, febbraio e marzo 1900. In questa rivista la teoria del Nadal venne studiata e discussa da Anspach e Dwelshauvers-Déry. Nota del Witz, *l. c.*

grandi macchine e risolvere ogni questione interessante la costruzione ed il funzionamento della motrice a vapore.

Cotesta opera del secolo XIX doveva, pure verso la fine, trovare nell'applicazione un indirizzo nuovo, volgendosi alla turbina a vapore.

« È una nuova rivoluzione » diceva recentemente, considerando l'applicazione di turbine alla navigazione, uno tra i tecnici nostri più acuti e profondi, in una delle sue conferenze tanto geniali (1): « è una nuova rivoluzione che l'Inghilterra tenta! La motrice di Watt carica di anni e di gloria, dovrebbe ceder l'armi onorate alla turbina a vapore, un'altra motrice più leggera, più adatta alle grandi velocità, meno ingombrante, un ritorno all'aurea semplicità antica con tutto l'arsenale della scienza ed esperienza moderna! »

Siffatto ritorno, se avvenisse, sarebbe il portato della stessa perfezione a cui era giunta la motrice del Watt.

Ed infatti — come osserva il Sosnowski (2) — dopo che la teoria della macchina a moto alternativo di stantuffo era stata stabilita, dopo che si erano scoperte le cause del suo debole rendimento, dopo che — con l'applicazione dell'inviluppo di vapore, della espansione multipla, della condensazione, del surriscaldamento — si era giunti al più alto grado nel rendimento, i perfezionamenti non potevano portarsi che su qualche cosa di organico nella costruzione: per ciò la costruzione dei motori a vapore a moto circolare diretto doveva tornare all'ordine del giorno. Da una parte non v' era a sperare di meglio dal motore classico, dall'altra, al contrario, il campo rimaneva interamente aperto — con un avvenire pieno di promesse — per le macchine a movimento circolare. Così i concetti dell'eolipila di Erone e della macchina del Branca (3), come un' idea del Watt — brevetto del 1769 — e quella della macchina che il Cook aveva presentato — 1787 — all'Accademia d'Irlanda, dovevano alla fine del secolo XIX, con le turbine del Parsons e del de Laval, entrare nell'industria.

Davanti al quesito: « dovrà dunque anche la motrice di Watt soggiacere alla legge comune? Troverà anch'essa, come tante cose umane, nel suo stesso rigoglioso sviluppo un germe caduco? », l'Ancona esclama: « Risponda l'avvenire! ». È tutto che si può dire.

Ma intanto che la turbina si andava affermando (4) la vecchia motrice continuava — e continua — a spandere su tutta la superficie della terra i suoi benefici, sia essa la macchina fissa, *orizzontale* — cui rende tanto comoda la facilità di accesso da ogni parte, sì che ogni manovra del regolatore, di rubinetti di spurgo, di lubrificatori, è a portata del macchinista — o *verticale*, od *a pilone* — meglio resistente agli sforzi dovuti all'inerzia delle masse dotate di moto alternativo, meno ingombrante per l' area, ma anche meno facile e comoda per il montaggio e smontaggio e per la sorveglianza —; sia

(1) UGO ANCONA. *La nave moderna.* Conferenza tenuta alla Lega Navale Italiana, Sezione di Milano, il 27 aprile 1902. Milano, Capriolo e Massimino, 1902.

(2) *Bulletin de la Soc. d'Encouragement* di Parigi, a. 1896, 5.ª serie, T. I, p. 1153.

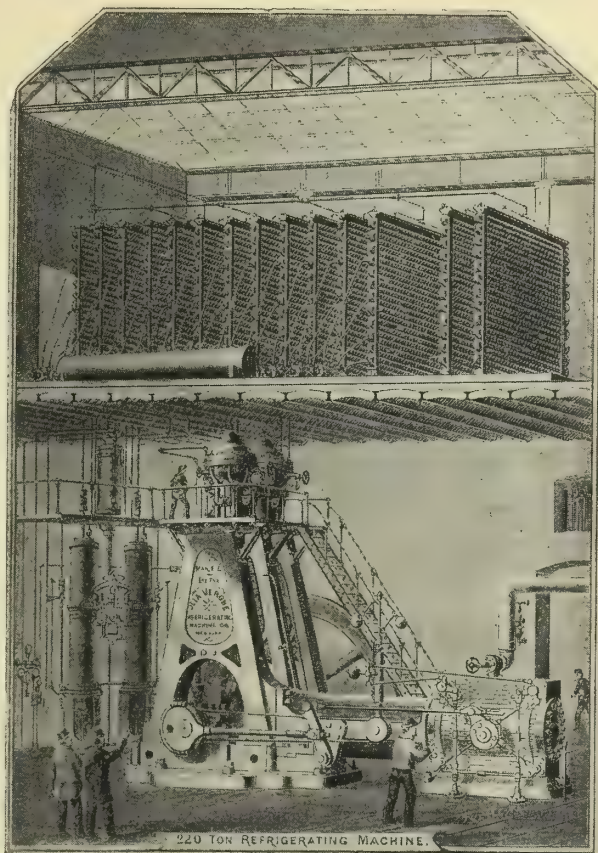
(3) V. Introduzione: testo a pag. 34 e 35, figure a pag 40 e 41.

(4) Non sapremmo come dare più compendiosamente al lettore l'idea della molteplicità di tentativi fatti, o di tipi inventati, di motori a vapore a moto circolare diretto, che riportando dal Sosnowski il seguente riassunto in cui quelle macchine sono anche classificate per tipi:

MOTORI A REAZIONE. Erone (120 a. C.), Cardano (1550), Kempel (1787), Peel (1823), Giudicelli (1825), Réal e Pichon (1827), Fénéon (1828), Stoddard (1835), Poole e Pilorge (1835), Burstall (1838), Convers (1893),

essa la locomotiva che ha permesso di superare la velocità dei cento chilometri e di rimorchiare quantità enormi di merci; sia essa la macchina marina con cui al transatlantico ed alla torpediniera è concesso fendere l'acqua con velocità vertiginosa; sia essa la locomobile, che, qua oggi, altrove domani, vive mettendo la sua potenza a disposizione di industrie le più svariate — dalla coltivazione del campo al prosciugamento della miniera, dalla illumizione d'occasione alla perforazione del suolo.

E quale cammino, non da quando il Cugnot — 1769 — sperimentava la sua prima locomotiva davanti al Duca di Choiseul, od il Papin metteva su le acque del Fulda il suo battello, che doveva tosto — alla confluenza del Weser — essere con violenza strappato alle acque e ridotto in frantumi, ma anche solo dacchè Giorgio Stephenson — 1829 — vinceva col *The Rocket* il celebre concorso bandito per escludere la trazione a cavalli dalla leggendaria linea da Liverpool a Manchester, e Fulton — 1807 — dava alla navigazione — tra Albany e New York — il *Clermont*, suscitando la meraviglia dell'*Evening Post* di New York perchè era parso che il battello, partito con forte vento contrario, avesse nondimeno filato sei miglia — undici chilometri — all'ora!

220 TON REFRIGERATING MACHINE.

Macchina refrigerante a gas ammoniaco.

Tipo da 220 tonnellate, della *The De La Vergne Refrigerating Machine* di New-York. Da pubblicazione della Casa Costruttrice.

Staitte (1842), Landormy (1845), State (1852), Tetley (1854), Newton (1868), Farcot (1868), Brydges (1878), de Laval (1883), Howden e Hunt (1889).

Motori a reazione combinata con espansione e condensazione: Sadler (1791), Leroy (1838), V. Rathen (1847), Prache (1864), Dumoulin (1884), Lagresille (1885), Parsons (1893).

Motori a reazione con l'intervento dei liquidi: Jacquement (1837).

RUOTE A VAPORE: Giovanni Branca (1629), Cook (1787), Dietz (1821), Leach (1822), Passot (1838), Champavère (1839), Perroux (1850), Roch (1862), Appé (1865), Smith (1877), Lumley (1878), Cooper (1882), Webb (1882), Laliberty (1884), Allaire e Gautier (1890), Thompson e Nevard (1893).

Turbine radiali centrifughe e ad asse verticale: Lainé Laroche (1844), Girard (1855).

TURBINE RADIALI *centrifughe ad asse orizzontale:* Pelletan (1838), Autier (1859), Brunner (1886), Parsons (1891), Edwards (1892), Terry (1893), Dow (1883), Husberg (1894).

Turbine radiali centripete ad asse verticale: Leroy (1838-40).

Turbine radiali centripete ad asse orizzontale: Delonchant (1853), Parsons (1890), Mac Elroy (1893), Bollmam (1894), Ferranti (1895)

Turbine radiali miste (centrifughe e centripete): Hoehl, Brakell e Gunther (1863), Edwards (1876), Clark (1876), Cutler (1879), Imray (1881), Dumoulin (1884), Last (1885), Altham (1892), Morton (1893).

TURBINE ASSIALI *ad asse verticale:* Réal e Pichon (1827), Tournaire (1853), Hannssen (1870).

Turbine assiali ad asse orizzontale: Ewbank (1841), Romanet (1859), Perrigolt e Farcot (1864), de Laval (1889), Wrench (1894), Bollmann (1894), Hopkins (1894), Ferranti (1895).

MOTORI MISTI (elicoidali o spiroidali): Gaukler (1879), Farcot (1889), Hunt (1889), West (1889), Smith 1893), Husberg (1894).

Tutte le macchine qui accennate sono descritte — ed illustrate con disegni — nella prevevole monografia del Sosnowski: *Roues et turbines à vapeur*, nel vol. cit. del *Bull. de la Soc. d'Enc.*

Il *The Rocket* pesava quattro tonnellate e mezza col suo approvvigionamento di acqua, ed alle prove aveva dato una velocità media di 24 chilometri, massima di 46 — raggiunto i 56 dopo essere stata liberato dal treno —: la celebre locomotiva « N.° 999 » per treni espressi della *N. Y. C. a. H. R. RR.*, — 1893 — pesava 62 tonnellate, la N.° « 805 » della *L. E. and W. R. R.* e

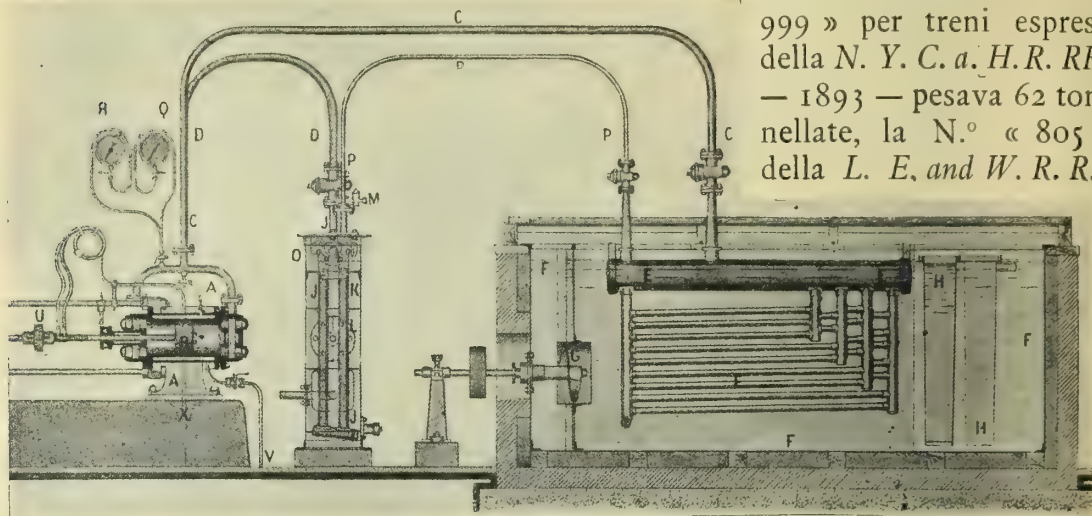



Fig. 1

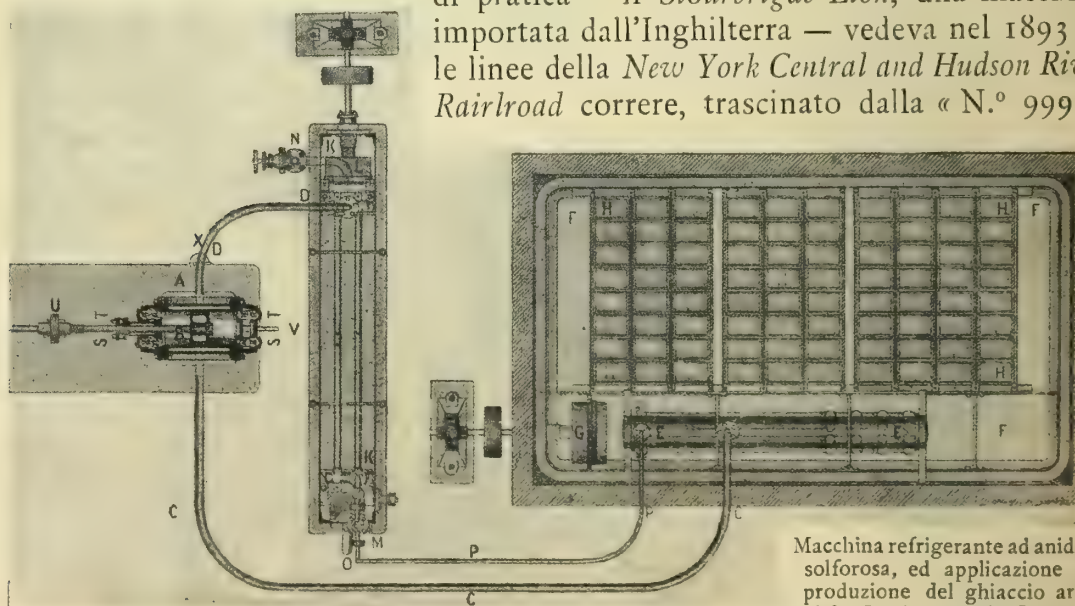
quella di F. W. Johnstone per la *Mexican Central R.* — entrambe per merci e dello stesso anno 1903 — ne pesavano rispettivamente 96 e 136; e ancora l'America che nel 1829 — 9 agosto — aveva veduto muoversi con velocità inferiore a quella del *The Rocket* la prima locomotiva che meritasse l'appellativo di pratica — il *Stourbrigde Lion*, una macchina importata dall'Inghilterra — vedeva nel 1893 su le linee della *New York Central and Hudson River Rairlroad* correre, trascinato dalla « N.° 999 »,

Macchina refrigerante ad anidride solforosa, ed applicazione alla produzione del ghiaccio artificiale. Impianto della *Société Genevoise.*

Fig. 2. Fig. 1 alzato; Fig. 2 pianta.

Legg. espl.: Il gas aspirato per il tubo *C* viene al *compressore A*, da cui è spinto per *D* al *condensatore J*, dal quale, per il tubo *P*, passa poi al *refrigerante E* ed ai tubi posti nella vasca *F* di congelazione: in questa sono gli stampi *H* ripieni dell'acqua destinata a congelarsi. Un tubo *V* conduce al compressore dell'acqua per raffreddarne cilindro, stantuffo e gas. L'anidride solforosa, sotto l'azione dell'aspirazione si dilata nei tubi posti entro la vasca *F*, e perciò si raffredda fino a liquefarsi parzialmente: essa mantiene così a temperatura notevolmente inferiore allo zero la soluzione che circonda gli stampi *H*. Cotesta soluzione ha, naturalmente, un punto di congelazione notevolmente più basso della temperatura inferiore alla quale la porta l'anidride solforosa circolante — in parte allo stato aeriforme ed in parte allo stato di goccioline — entro le tubulature comunicanti con *E*: *G* è un ventilatore destinato a rendere uniforme la temperatura del liquido posto nella vasca *F*. E' evidente che la stessa quantità di anidride solforosa dovrebbe — in teoria — servire indefinitamente.

l'*Empire State Express* con velocità superiore ai cento chilometri. Il 22 giugno 1819 toccava Liverpool il *Savannah*, il primo piroscafo che — a nostra notizia — abbia attraversato l'Atlantico. Dall'America all'Europa aveva impiegato 27 giorni; e, quando — 1838 — dopo un periodo in cui la navigazione a vapore tra i due mondi non aveva costituito un servizio regolare, essa fu stabilita definitivamente, si richiedevano 18 giorni per la traversata da Bristol a New York: ai piroscafi della fine del secolo, partendo nel pomeriggio della domenica dall'Irlanda, era possibile nelle prime ore vespertine del venerdì immediatamente successivo distinguere i fari dell'America, raggiungere nella stessa sera Sandy Hook — l'entrata della baia della metropoli americana —: i 27 giorni del *Savannah* erano ridotti a meno di sei. Il *Clermont*, destinato alla navigazione sull'Hudson, aveva la lunghezza di 39 metri, stazzava 160 tonnellate e portava un centinaio di passeggieri; il *Britannia* con cui nel 1840 inaugurava il servizio transoceanico la *Cunard Line* era lungo 62 metri, stazzava 1139 tonnellate, poteva alloggiare 115 passeggieri, aveva macchine della potenza di 740 cavalli, filava 8,5 nodi all'ora; ed il « *Bremen* », il primo vapore del *Norddeutscher Llyod* era lungo 100 metri, e sebbene potesse ricevere 570 viaggiatori, non aveva che una potenza di macchina pari a quella del *Britannia*. L'ultimo decennio del secolo annoverava tra i trionfi dell'industria nella navigazione fluviale e lacuale il *Columbus* — 1893 — lungo 109 metri e destinato a riversare alla *World's Fair* di Chicago 5000 visitatori per volta; nella oceanica — 1893 — il *Campania* ed il *Lucania* della *Cunard Line*, lunghi 189 m. e ciascuno con due macchine da 15000 cavalli ognuna, poi il *Deutschland* dell'*Hamburg American Line*, lungo 208 m., con 38000 cavalli di potenza, che fila a 23,5 nodi, e, del *Norddeutscher Lloyd*, il *Kaiser Wilhelm der Grosse* — 1897 — lungo come il *Deutschland* — dislocante 20·000 tonnellate, capace di alloggiare oltre 1500 passeggieri ! E si andavano preparando le altre meraviglie

Camere refrigeranti per deposito di carni macellate.
Impianti della *De La Vergne R. C.* Da pubblic. della Casa Costruttrice.

— dell'alba del secolo XX — il *Kronprinz Wilhelm* ed il *Kaiser Wilhelm II*, lunghi il primo come il *Deutschland*, dislocante 21300 tonnellate, l'altro lungo 216 m. con un dislocamento di 26.000 tonnellate, con una potenza di macchine di 40.000 cavalli!

Ecco i miracoli resi possibili dallo sviluppo della motrice a vapore; miracoli per la loro imponenza, miracoli per la semplicità con cui ne procede il funzionamento. « E i marinai? » si chiedeva l' Ancona (1) parlando del *Deutschland* e della popolazione — 1848 persone — che esso accoglie « E i marinai?.... I veri uomini del mare, i classici marinai, quanti sono? Sessanta... Sessanta? Ma se ne aveva di più la caravella di Colombo! » E soggiungeva: « Ma chi naviga dunque?... Non più l'uomo... Naviga il genio umano! »

Industria della birra. Camera di fermentazione, con refrigeranti.
Impianti della *De La Vergne R. C.* Da pubbl. della Casa Costruttrice.

Si! il genio umano: il genio umano, ben degno che gli ponessero i suoi problemi e cielo e terra, che gli fossero ancelle le energie della natura.

Di una delle opere più eccellenti di questo genio — della macchina a vapore — sia concessa ancora una parola, ed ancora la dica il Witz.

«Aujourd'hui» — scrive (2) l'illustre professore della Facoltà di Lilla — « on construit partout des machines fixes de 2000 chevaux: à Providence, en Amérique, on a même abordé des puissances de 4000 chevaux; dans la marine, les cuirassés portent des machines de 28000 chevaux. Il y a soixante ans, le poids moyens des machines à vapeur était de 1200 kilogrammes par cheval: en 1850, ce poids n'était plus que de 700 kilogrammes: en ce moment on construit des machines pesant moins de 100 kilogrammes par cheval. Le prix des machines a suivi la même progression décroissante: pour 75 chevaux on payait 70.000 francs en 1860, machine, chaudière, tuyaux, accessoires et tout frais compris; on dépense moitié moins en 1902 ». E dopo aver accennato all'enorme economia raggiunta nel combustibile, passando alle locomotive, prosegue: « Les locomotives ont un double objet à réaliser: la vitesse et la puissance. Au debut de l'industrie des chemins de fer, vers 1845, on se contentait de vitesses de 50 kilomètres à l' heure pour des légers express, et les trains les plus lourds, qui pesaient 300 à 400 tonnes, circulaient avec des vitesses de 15 à 18 kilométres. Le type par excellence de la machine d'express était alors le modèle Crampton, caractérisé par le diamètre considérable de ses roues motrices et par l'abaissement du centre de gravité: c'était le cheval de course des voies ferrées; il remorquait des trains de 12 voitures, pesant de 100 à 120 tonnes, La locomotive Engerth, montée sur quatre paires de petites roues, était le mammouth des trains de marchandises; il lui fallait des chaudières à grande surface et des cylindres à longue course; on pouvait lui faire traîner ses 40 wagons de 10 tonnes, sur des rampes de 4 millimé-

(1) *Conferenza citata.*
(2) *La Machine à Vapeur*, Paris, Ballière et Fils, 1902.

tres par mètres . . . En ce moment les trains rapides de 350 tonnes ont des vitesses moyennes de 85 kilomètres, et les trains des marchandises font sans peine 30 kilomètres avec un charge qui atteint quelquefois 750 tonnes: la puissance des nouvelles machines dépasse 1300 chevaux. Les machines Crampton consommaient environ 8 kilogrammes de charbon par kilomètre

Fig. 1.

Fig. 2.

La macchina Linde per liquefare l'aria

Fig. 1: veduta d'assieme. — Fig. 2 particolare del serpentino.

Legg. espl. — *de*, doppio compressore che spinge l'aria a 220 atm. per il tubo p_2 al depuratore *f*, e — attraverso una parte di tubo posta in *g* ove è del ghiaccio — al grande serpentino a tre tubulature concentriche, rappresentato in particolare nella fig. 2. L'aria compressa percorre il condotto centrale arrivando alla chiave *a*: aprendo questa, l'aria si espande a 17 atmosfere entro il secondo condotto, e si raffredda così di circa 50°: ritorna al compressore, ripassando al tubo centrale — avvilupp da aria a temperatura inf. di circa 50°, come fu detto —; raffreddata così giungendo ad *a* si espande e si raffredda ulteriormente. Così procedendo nella circolazione, essa si va raffreddando fino a che — raggiunto un certo abbassamento di temp. ed aprendo la chiave *b* — l'aria si espande ulteriormente da 17 atm. alla press. atmosferica e — ove il raffreddamento antecedente sia stato suff. — passa allo stato liquido, sgocciolando nelle prov. *c*. A partire da questo mom. la prod. diviene continua.

Fig. 2: mostra il condotto centrale del serpentino in cui circola l'aria a 220 atm.; l'altro che abbraccia questo, ed in cui l'aria è a 17 atm., serve a raffredd. quella del tubo centrale. Il cond. est. serve a togliere il contatto della par. del sec. serpent. con l'aria esterna molto più calda.

pour une remorque de 12 voitures: c'était un résultat excellent, mais on ne pouvait se contenter. La Compagnie du Nord compte aujourd' hui sur une dépanse de 26 kilogrammes par kilomètres, pour une locomotive, compound, la charge du train étant de 625 tonnes. Veuillez remarquer ce résultat: pour le prix maximum de 30 centimes on transporte donc un train de 625 tonnes a un kilomètre de distance ! ».

Tale è stato lo svolgimento della motrice del Watt: tale quello della sua figlia, la locomotiva.

Se non che colla macchina a vapore, il secolo XIX vide nascere e svilupparsi altri motori termici: vogliamo alludere alle macchine *ad aria*, *a gas*, *a benzina*, *a petrolio*, *a gas povero*.

Veramente, della macchina ad aria, ideata e primamente applicata, da Giacomo Stirling, ingegnere, di Dundee, e da Roberto Stirling, dottore in teologia di Galston (1); affermatasi nel 1851 all'Esposizione di Londra con l'Ericsson, che se n'era occupato nel 1833, e che però unicamente dopo studi e ten-

(1) Combés, *Rapport à S. Exc. M. le Ministre de l'Agric., du Comm., et des Travaux Publics, sur la machine à air chaud envoyée au Havre par le capitaine Ericsson.* Esiste nella bibl. della Soc. d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri, in Milano. Non ha indicazione di tipografia, e non porta data; presenta però dati suffic. per assegnarlo al secondo semestre del 1853.

rativi fatti in Europa e nell'America del Nord, e solo assai più tardi. nel 1848, era riuscito a costruirne una soddisfacente, di 5 cavalli — è a dirsi che non ha avuto un gran successo. Il modello da 600 cavalli che l'Ericsson aveva costruito per il piroscafo che ne portava il nome, si vedeva sostituito nello spazio di un anno, da una motrice a vapore ; e se per gli studi del Franchot, del Lauberau, del Roper, dello Shaw, del Lehman, parve un momento sia che della macchina ad aria calda, la tecnica si occupasse di proposito, sia che ad essa dovesse schiudersi un avvenire, questo invece mancò completamente. L'idea che il calore — ove venga usato per dilatare un fluido che si trovi già allo stato aeriforme, ed ottenere così, nell'espansione, una sorgente di lavoro meccanico — è utilizzato meglio che nella macchina a vapore, è certo teoricamente giusta. Il vero motore — infatti — nella macchina termica è il calore; il vapore è come un intermediario: e come intermediario ha un lato diffettoso, quello del dover essere ottenuto da un liquido. Sotto cotesto aspetto la macchina termica offre un problema molto importante: la questione del perfezionamento non istà solo nel trovare una combinazione di organi atti a trarre dal vapore un maggiore partito, ma anche — e in linea non meno importante — nel trovare un buon intermediario tra la forza motrice che è nel calore sviluppato nel focolaio e lo stantuffo su cui codesta forza deve agire. Ora, come intermediario, l'aria presenta una grande superiorità: un gase per di più, un gas di tipo vicino a quello del gas perfetto; si aggiunga che, è ovunque a disposizione della macchina, e che non costa.

Distillatore Norma d per acqua di mare.

Legg. espl. — *A* corpo cilindrico del *bollitore* in cui è l' acqua da distillarsi, che viene riscald. med. un serpentino. Super. un recip. cilindr. formante camera di vap., comunic. col bollitore per larghi condotti e sormontato da una cavità in cui si racc. il vap. da condensarsi. Questa disp. ha per oggetto d'imped. che il vap. trascini con sè dell'acqua salata. Il vap. passa all' *aeratore B*, poi al *refrigerante C* ; e, per il tubo *D*, al filtro *E*.

Ma, se cotesto ordine di idee, andatosi sviluppando dal 1850 in avanti che risponde a verità nel campo teorico, praticamenre il modo con cui si deve disporre il focolare, la temperatura alla quale l'aria esce del cilindro, un grande deterioramento, disturbi gravi a cui dà luogo l'esercizio, e molti altri fatti, escludono dal campo vero della pratica ogni macchina ad aria. Quel che su la macchina perfezionata degli Stirling, e su quella del Fanchot, scriveva nel 1853 il Combes — l'eminente professore della *École des mines* di Parigi — nel suo rapporto al Ministro di Agricoltura, Commercio e Lavori pubblici. (1) si può quasi ripetere oggi delle macchine ad aria in genere: esse non sono entrate nell'industria.

(1) « Il ne parait pas que, malgré les résultats avantageux annoncés par M. James Stirling, dans la communication faite en 1846, la machine à air chaud de MM. Stirling ait été employée dans les ateliers et usines de la Grande Bretagne, plus que celle de M. Franchot. ne l'a été en France au ailleurs ».

Trionfale invece è stato il cammino del motore a gas dal giorno in cui il Lenoir ideava di valersi, per produrre il moto di uno stantuffo, dell'energia ottenuta mediante accensione di un miscuglio detonante di gas di illuminazione ed aria, fatto in proporzioni opportune per un funzionamento industriale. In quarant'anni (1) se ne moltiplicarono i tipi e perfezionarono gli organi, cosicchè la fine del secolo XIX segnava la costruzione di una motrice a gas da ben 600 cavalli — quella costruita per l' Esposizione di Parigi dalle officine del Cockerill a Seraing nel Belgio. — Il Chauveau (2) nel 1891 notava come in Europa fossero stati venduti in poco più che dieci anni oltre 30.000 motori del solo sistema Otto: sarebbe impossibile dire quanti — di quello e degli altri sistemi — ne siano stati impiantati nel mondo durante l'ultimo decennio del secolo.

Distillatore d'acqua ad effetti multipli.

Legge espl. — serve ad utilizzare il cal. dell'acqua circondante il serpentino dell'alambicco, adoperando l'acqua medes. per aliment. il bollitore di un altro apparecchio. Ciò richiede che la press. sia in questo opportunamente min. che nell' anteced., perchè con l'abbassarsi della press. si abbassa pure la temperat. di ebolliz.

C, caldaia riscaldata direttam. o con mezzo indipendente dall' app.; *A*, *A'*, *A''* ... calda e ciasc. racch. un serpent. *H* comunic. con la cald. antec. e term. in un serb. chiuso contrass. con le lett. *B* : l'ultima caldaia — *A'''* nella figura — com. con l'atmosf. e cont. un liq. freddo che serve alla condens. dei vap. arriv. al serpentino contenutovi.

Cotesti motori nella loro immensa varietà si presentano atti all'impiego dei combustibili più differenti. Nei grossi centri può fornire per essi l'energia il gas illuminante; ove questo manchi valgono i gas d'acqua ed i molti gas pover che ciascuno può prepararsi all'occorenza con la distillazione dei carboni e del legno come delle stesse materie organiche. Nei paesi ove abbonda il gas naturale — quali la Pennsilvania, il Caucaso, la China — il suolo stesso fornisce il combustibile; ed ogni stabilimento siderurgico lo trova nei gas degli alti-forni. Ed aggiungiamo ancora i gas combustibili compressi, petroli, l'alcole, l'acetilene.

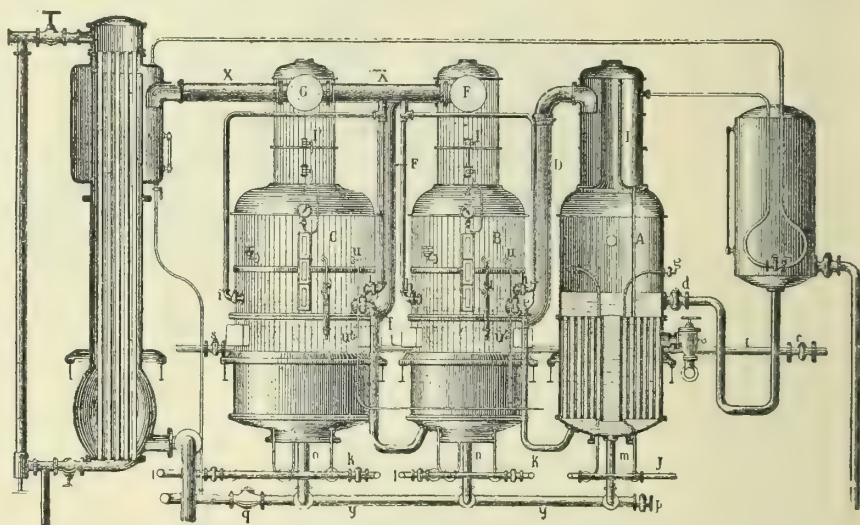
Evaporatore a bacini scaglionati.

Il liquido viene risc. med. un unico focolare: i sifoni rappr. tra due bac. servono al passaggio autom. del liquido da un bac. all'altro.

La piccola industria ha trovato in cotesti motori quel che non potevai darle il vapore; ed automobilismo e motociclismo devono ad essi il loro sviluppo: la perfezione a cui furono portati permette di accoppiare ad essi direttamente la dinamo — una delle macchine più esigenti quanto a regola-

(1) La privativa più antica che si conosca per macchine a gas illuminante è la patente inglese Barnett, accordata nel 1838. Il motore però non divenne pratico che con il Lenoir — 1860 — e l' Hugon — 1862 —. La motrice Otto comparve alla Esposizione di Parigi nel 1878, ma il brevetto tedesco era stato accordato due anni prima, e del 1879 è il brevetto Koerting. Vegg. la bella monogoafia « Teoria delle motrici a gas-luce » del prof. Cavalli della R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in Roma, *Loescher* e *C.*, 1889.

(2) *Traité théorique et pratique des Moteurs à Gas,* Paris, Baudry et C., 1891.

rità di movimento — e mercè essi la luce elettrica si va diffondendo anche là dove invece avrebbe continuato a regnare la fumosa e pericolosa lampada a petrolio. Usciti dal periodo dei tentativi, delle alternative tra il successo e l'insuccesso — un periodo durato una trentina di anni — essi hanno invaso il mondo e sconfinato dal campo della piccola industria a cui, nei primordi. parevano esclusivamente destinati; poiche risultò pratico il funzionamento di quelli da molte centinaia di cavalli, essi presero il loro posto a fianco della motrice a vapore nelle industrie le più disparate, e vennero a portare

Evaporatore Caìl a triplo effetto da zuccherificio, per concentrare i succhi delle betterave.

Legge espl. — Dispos. anal. a quella del distill. ad eff. multipli — pag. 307: *A*, *B*, *C* cald. conten. i succhi da evap., colleg. in modo che il vap. prov. da una serve ad evap. il liq. della seguente. In esse si mantiene una pressione decresc. dalla prima alla terza, e che è di circa 64 cm. di merc. in *A*, 35 in *B*, 14 in *C*: si hanno così, come temp. di ebolliz., rispettivamente circa 95°, 80°, 60°. Cot. abbass. progr. della temp., oltre all'ess. fav. ad una buona utilizz. del cal., permette di evit. l'alteraz. dei succhi zuccherini sottop. al trattam.

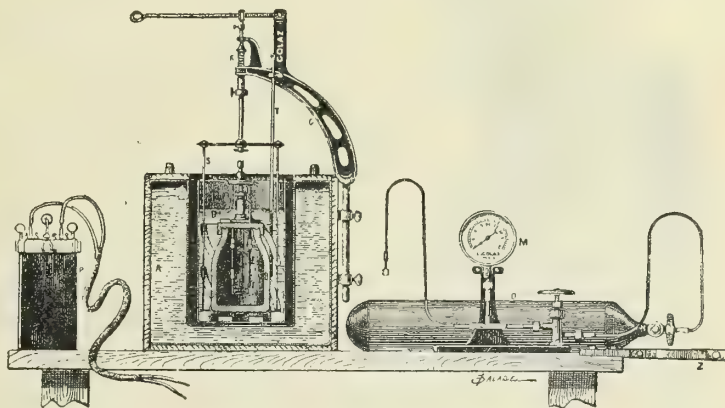
il loro contributo a quella moltiplicazione dell'attività umana che costituisce uno dei fatti più importanti del secolo scorso nel campo economico e sociale.

Procedendo ancora nella rapida enumerazione delle conquiste della termodinamica sono a ricordarsi le macchine destinate alla produzione delle basse temperature.

Si tratta di un'applicazione che ha schiuso vie affatto nuove all'agricoltura ed all'industria, ed è pure arrivata ad un alto grado di praticità, ad una grande estensione di applicazioni. Dalla macchina da ghiaccio, a circolazione di aria secca rarefatta, patentata dal Wallance nel 1824, dall' apparecchio a svaporazione di etere del Perkins — 1834 — ai lunghi tentativi del Twinning di New Haven con l'etere solforico — durati dal 1848 al 1855 quando impiantava a Cleveland nell'Ohio quella macchina, capace di produrre giornalmente 1600 libbre di ghiaccio, in cui è realizzato il sistema moderno di compressione; — da John Gorrie di New Orleans che — 1850 — mirava a raffreddare, mediante espansione di aria, le camere degli ospitali per il trattamento delle febbri; dal Windhausen di Brunswich — 1855 — con la cui macchina, pure ad aria, per qualche tempo ebbe ghiaccio anche l' economia domestica; dal Carré che — 1857 — produceva il freddo con l'evaporazione

dell'etere solforico, sostituito ben presto — 1859 — ad evitare i pericoli derivanti dalla infiammabilità di esso, con l'ammoniaca; agli inglesi Bell Coleman, Haslam e Liglitfoot, al francese Giffart, all'americano Allen, vi é tutta una serie di apparecchi e di sperimentatori a cui é dovuta quella che si potrebbe chiamare l'industria del freddo artificiale; una serie in cui vuol essere ricordato il nome del Tellier, di cui l'apparecchio ad etere metilico — 1863 — non potè contare nessun successo dal punto di vista industriale, ma che primo tentò la conservazione delle carni coi refrigeranti e la applicò al loro trasporto — dall'America del Sud all'Havre, mediante la nave « *Le Frigorifique* » —.

Da quegli, studi tentativi ed apparecchi, come da quelli dei fisici sulla liquefazione dei gas, sono venute le macchine moderne che i tecnici distinguono in macchine *ad assorbimento* o *ad affinità* (1) e macchine *a compressione* (2) — di gran lunga più diffuse delle prime —.

Coteste macchine, null' altro nel loro concetto che pompe aspiranti e prementi — un *aspiratore*, che appunto aspira i vapori del gas liquefatto, e un *compressore* che, dopo la loro circo-

La *bomba calorimetrica* del Mahler.
Da pubblicaz. della Casa costr., L. Golaz di Parigi.

Legge espl. — *A*. inviluppo isolante; *B*, obice in acciaio smaltato, della cap. di 650 c.c. e colle pareti dello spess. di 6 mm.; *C*, caps. in platino su la quale si pone il combust. da esam.; *D* calorimetro; *E*, elettrodi; *F*, filo di ferro arroventab. med. corr. elettr. e che serve ad accend. il comb ; *G*, *K*, *L*, sostegno, meccanismo, e leva dell'agitatore *S*; *O*, tubo conten. ossig. compresso; *T*, termom.; *P*, generat. di corr. elettrica.

Posto il combustib. — 1 grammo — su la caps. *C*, si introd. questa nell'obice: poi, chiuso questo ermetic., vi si introd. per l'opp. robinetto. dell'ossig. finchè il manom. segni 25 atmosf.; si porta l'obice nel calorim.; si mette un peso noto di acqua, agitando poi e lasciando che tutto si disponga pressapoco in equilibrio di temp.; si osserva la temperat. di min. in min. per cinque minuti al fine d fissare la legge che segue l'andam. del termom. Poi si determina l'accens. med. la corr. elettrica, si osserva il termom, dopo mezzo min. dacchè si è provoc. l'accens., poi al termine del min. stesso, e si proseg. di min. in min. fino a che il termom. comincia ad abbassarsi. Si continua anc. la osserv del term. di min. in min. per cinque min. allo scopo di fissare la legge del suo and. dopo che ebbe ragg, il massimo. Si hanno così i dati che con un calcolo molto sempl. permett. di trov. il pot. calorif. del combustib. Con un po' di pratica, non occorrono più di tre quarti d'ora, in media, per fare un' analisi; e l'app. può servire — con qualche legg. modif. nella preparaz. — anche per i combustib. aeriformi.

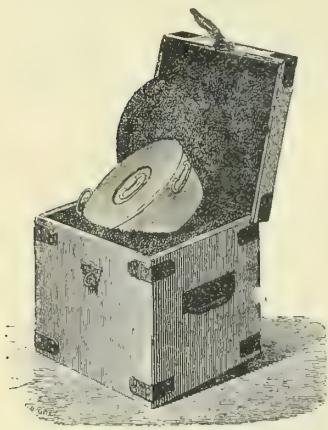
(1) Delle macchine *ad affinità* è tipo l'apparecchio Carré. In esso da una caldaia contenente una soluzione di gas ammoniaco, e che viene riscaldata, questo, volatilizzato, alla pressione di circa 8 atmosfere passa a liquefarsi in un serpentino intorno a cui circola costantemente dell' acqua fredda. Il liquido si rende quindi al congelatore propriamente detto, ove si volatilizza producendo il freddo dovuto — con cui si può poi preparare del ghiaccio, o fare altra applicazione secondo la forma e disposizione del congelatore stesso —. Il gas passa quindi in recipiente in cui deve essere nuovamente assorbito: ivi giunge pure il liquido depauperato rimasto nel fondo della caldaia, ed il gas vi si discioglie. La soluzione ammoniacale viene poi — lo si comprende — rimandata in caldaia.

È da osservare che il liquido depauperato parte da questa ad una temperatura elevata che lo renderebbe inetto a ridisciogliere il gas: deve dunque essere raffreddato, mentre d'altra parte la soluzione ammoniacale deve ritornare in caldaia più calda che é possibile; a raggiungere coteste condizioni serve una opportuna disposizione che si riduce ad ottenere una circolazione in senso inverso dei due liquidi entro un recipiente speciale

Gli apparecchi di questo tipo furono quasi completamente messi da parte nel loro stesso paese di origine, tormarono però di recente oggetto di studio in America, ove se ne costruiscono a New-Jork da Isbell-Porter, da Pontifex-Hendrik, a Colombus da Ellis e Bronn, e da Holden.

(2) Sono quelle più comunemente usate, e se ne hanno ad anidride solforosa, a gas ammoniaco, ad anidride carbornica. Il Vincent ne costruì a cloruro di metile, ma non sappiamo che esse abbiano varcato i confini del paese d'origine, la Francia. Di quelle ad anidride solforosa va considerato come inventore il Pictet — 1875 ; delle altre il Linde 1875 per quella ad ammoniaca, 1882 per quella ad anidride carbonica.

lazione nel serpentino *refrigerante*, li riduce ancora a liquido — coteste macchine, si dice, erano portate alla fine del secolo al regime di funzionamento continuo pienamente soddisfacente dal punto di vista industriale.

Sono esse che funzionano nelle grandi fabbriche di ghiaccio artificiale la cui produzione si spinge in Inghilterra ed agli Stati Uniti a 200, 300 tonnellate al giorno per fabbrica.

Pentola automatica.

Legge espl. — Per lo spesso inviluppo coibente, il calore è manten. tanto bene che, introducendovi il recip. — metallico — quando i liq. cont. siano alla temp. dell'ebolliz. — in tre ore l'abbass. di temp. non oltrepassa i 12°. La cottura delle vivande può quindi continuare per molte ore dopo che la pent. venne tolta dal fornello.

Ad esse si deve la possibilità della conservazione su vasta scala delle sostanze alimentari — per le quali la refrigerazione è anche un mezzo di vera sterilizzazione: — e così la California può mandare lontano i suoi frutti, la Siberia e la Danimarca i loro burri, la Nuova Zelanda, il Capo, gli Stati Uniti, carni, formaggi, legumi.

Alla possibilità di produrre e regolare il freddo, per la industria dei vini, a Bordeaux si arrivava ad affrettarne l'invecchiamento, nella Champagne a semplificare la depurazione, migliorando il prodotto; la produzione della birra il cui successo dipendeva dalla maggiore o minore rigidezza dell'inverno, e che pareva destinata ad essere monopolio dei paesi del nord, ha potuto emanciparsi dall'ostacolo più grave che le condizioni volute dalla fermentazione e dalla conservazione parevano opporsi alla sua espansione.

Ma non vogliamo fare una rivista completa delle applicazioni trovate dalla produzione artificiale del freddo: sarebbe forse impossibile, tante sono esse! È un' industria che è penetrata perfino nei regni del dolore e della morte, come in quelli della giocondità e della vita, poichè per essa si videro migliorare le condizioni delle cliniche e delle sale necroscopiche, sorgere i *palazzi di ghiaccio* con le loro piste folleggianti di pattinatori. Nè avremo mostrato abbastanza lo sviluppo nella moltiforme sua applicazione quando avremo ricordato già alla fine del secolo XIX che agli Stati Uniti, secondo al rapporto di Artur Hunt del *Census Office* (1) l'industria del ghiaccio contava — appunto nel 1900 — 787 grandi officine rappresentanti un capitale di 191 milioni di lire, con una produzione annua ammontante ad oltre 68 milioni di lire; che secondo l'Annuario del Ministero d'Agricoltura di Washington la icapacità totale delle camere di deposito refrigeranti era di circa 5.350.000 metri cubi; che secondo il Rich vi erano 60·000 carrozzoni refrigeranti; e che il solo stabilimento Armour a Chicago possedeva — gennaio 1901 — 17 macchine frigorifere da 3000 chilogrammi di ghiaccio per ora, grazie alle quali poteva — col lavoro di 7000 operai — provvedere *giornalmente* al trattamento di 15000 maiali, 7000 pecore e vitelli, 3000 capi di bestiame grosso (2). Queste

(1) De Loverdò. *Le Froid artificial et ses applications industrielles, commerc. et agric.* Paris, Dunod, 1903.

(2) Per dare un'idea del movimento di prodotti alimentari reso possibile dal freddo artificiale, riportiamo anche dall'eccellente opera del De Loverdo, a cui accresce pregio un copioso indice bibliografico, il seguente specchio statistico delle derrate, congelate o raffreddate, che riceveva alla fine del secolo la Gran Bretagna:

cifre bastino a mostrare l'importanza della curiosa applicazione dei principi della termodinamica, arrivata al punto da rendere — col Tripler l'Hampson ed i Linde — industriale la stessa liquefazione dell'aria, come — pag. 224 — si ebbe già occasione di notare.

Altra importante applicazione del calore si hanella distillazione. Il vecchio e semplice alambicco, ha dato luogo ad innumerevoli apparecchi perfezionati coi quali la distillazione avviene in modo sia da offrire prodotti migliori, sia da economizzare al massimo possibile il calore, sia infine da separare bene, industrialmente, liquidi volatilizzantisi a temperature differenti: così con i distillatori del Normanij, del Mourraille, del Normand, l'acqua del mare viene convertita in buona acqua dolce ed aerata; nei distillatori *a effetto multiplo* il bollitore dell'alambico è alimentato con acqua riscaldata a spese del calore ceduto dal vapore nel condensatore (1).

Per la distillazione degli alcool l'antico apparecchio di Argand — 1870 — e quello di Adam — 1801 — che avevano saputo sostituire la distillazione unica alle distillazione successive con cui si operava la concentrazione, sono scomparsi, dando luogo agli apparecchi a lavoro continuo Cellier-Blumenthal e Derosne, Cail, Pistorius, Dorn, Egrot, Coffey, Gall, Siemens. La rettificazione, che avveniva pure per serie discontinua di operazioni, divenne, verso la fine del secolo, con gli apparecchi Barbet e congeneri, a lavoro continuo (2).

PAESE DI PROVENIENZA	NATURA DEI PRODOTTI	ANNO	QUANTITÀ
Australia, N. Zelanda, America del Sud.	Montoni congelati	1900	6.433.821
Queensland ed Australia, Amer. del S. Stati Uniti, Canadà, Continente ecc.	Bue congelato o refrigerato.	1900	600.000 quintali.
Australia, Victoria, N. Zelanda, Canadà, Stati Uniti.	Burro.	1900	65.914.800 Kg.
Marocco, Egitto, Russia, Stati Uniti . .	Uova	1900	167.040.000.
Canadà, Australia, Russia, ecc. . . .	Selvaggina e cacciagione . .	1900	15.000.000 di franchi.
Canadà	Salmone	1900	Parecchi milioni di kg.
Stati U., Canada, Australia, Capo, Egitto, Canarie, Giamaica ed altre colonie inglesi.	Mele, pere, pesche, albicocche, ciliege, ribes, prugne, uve, fragole, mandorle, noci, arancie, limoni, ananassi, pomidoro.	1900	Oltre un milione di ettolitri.
Giamaica.	Banane	1901	50.000 *régimes*, (grossi grappoli) in marzo.

(1) Il calore latente reso libero dalla liquefazione di un chilogrammo di vapore a 100° gradi, basta per elevare da 0° a 100° la temperatura di 5,37 chilogrammi di acqua. Per utilizzare questo calore a produrre l'ebollizione di una nuova quantità di liquido di cui i vapori siano a loro volta impiegati alla stessa maniera, — il che si riduce a trasportare del calore da un apparecchio al seguente — occorre praticamente che esista tra i due apparecchi una certa caduta di temperatura, vale a dire che la ebollizione nel secondo avvenga ad una temperatura più bassa che nel precedente, il che richiede a sua volta che la pressione decresca passando dall'uno all'altro. I distillatori ad *effetto multiplo* realizzano appunto cotesta condizione.

(2) Darà un' idea di quel che erano per dimensione e produzione gli apparecchi distillatori dell' ultimo ventennio del secolo il sapere che un apparecchio Coffey — a Bow presso Londra nello stabilimento Currie — forniva poco meno di 50.000 ettolitri all' anno di alcole — ottenuto dalla fermentazione di orzo e di avena con addizione di malto. — *Guillemin. Le Monde Phisique*, T. IV.

In particolari su coteste industrie è impossibile entrare, anche solo per la parte che spetta alla fisica: ove appena si rifletta alla enorme varietà delle materie prime impiegate, a quella dei liquidi prodotti; ai trattamenti che ciascun tipo di materia prima o varietà di alcool o di liquido domanda; alla enorme produzione — causa non ultima di decadimento in tanta parte di popolazione civile; — ove appena si rifletta a tutto cotesto, appare subito quale vastità di campo siasi qui dichiusa alla tecnica e come non sia assolutamente possibile nemmeno un rapido sguardo.

Soltanto nominandole, per la medesima ragione, accenniamo alla concentrazione dei sciroppi e di tanti altri prodotti industriali,

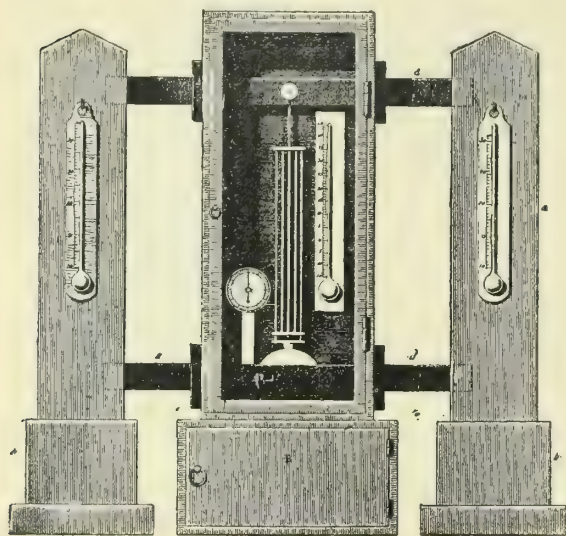



Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 1. Pendolo a compensazione e pirometro di prova, di Urbano Jurgensen di Copenhagen. Ripr. della Fig. 7, Tav. I, della celeb. op. del Jurgensen « *Principes gènèraux de l'exacte mesure du temps* » ediz. del Bachelier di Parigi, 1838.

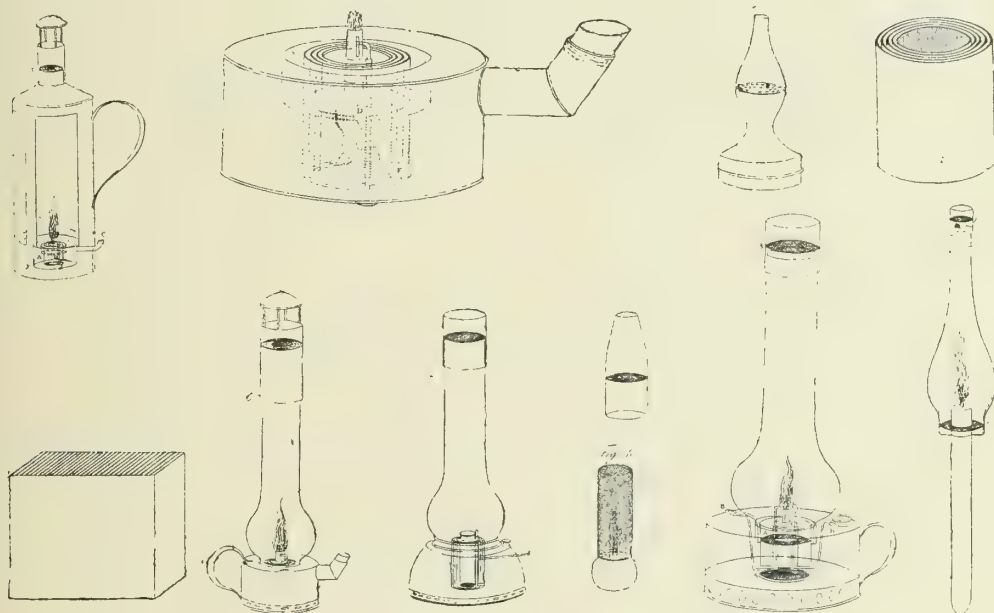
Fig 2. Pendolo a compensazione del Reid di Woolwich. Ripr. delle fig. 1 e 2. Tav. a pag. 199, *Ann. de Ch.*, T. LXXXV, a. 1813. Comunic. di Guyton-Morveau: estr. del Giornale di Nicholson, marzo 1812.

Legge espl. — Fig. 1. Il pendolo è del tipo a griglia di ferro e zinco, quale è descr. su tutti i testi di fisica, e come era stato inventato dall' Harrison. Il Jurgensen però ne aveva curato molto bene la costr. anche dal lato meccanico, e vi aveva agg. una disposiz. permettente di regolare bene la compensazione. Perciò l'asta centr. finiva entro un tubo di ottone, ed il sist. dell'asta e tubo aveva una serie di fori molto vicini, pratic. perpendic. all'asse com.; una caviglia spostab. — da port. ad uno de fori sup. o ad uno degli inf. secondo che vi era « troppa » compensaz. o che essa era « scarsa » — permett. cot. regolaz. Per rettificarla nella costr. serviva il *pirometro* rapp. dalla figura. In esso sono: *A B* cassa di legno, nella cui parte inf. *B* — fod. di lam. metall. e com. con la sup. per quattro fori — si pot. mettere una sorg. di cal.; essa vi era lasc. per un paio d'ore, dopo di che, riten. che tutto il pend. avesse preso la stessa temp., se ne determ. la dur. di oscill.; lasciando poi raffredd. il pendolo — anche sotto 0° — si fac. una nuova determ.; e sec. i risultati si proc. o no alla rettificazione. I term. lat. serviv. ad avvertire i camb. di temp. che fossero avven. nei blocchi di pietra *a a*; il quadrante *e* vic. alla lente serv. con un ingegnosis. meccan. a riconosc. se il pendolo si all. o si acc.; *c c* e *d d* sbarre in ferro, alla sup. delle quali viene sosp. il pend., all'inf. appl. il mecc. del quadrante; perchè la dist. di queste sbarre rim. inv. esse sono fiss. nei blocchi di pietra e *aa*. Fig. 2 —; *AB* verga di acciaio; *D* cilindro *compensatore* di zinco reggente la lente *C*.

Fino dal 1715 era stata ideata la compensazione col mercurio — *Phil. Trans.* del gennaio e febb. 1726 — da Giorgio Graham, orologiaio di Londra e membro della *Royal Society*; uomo che ha lasciato nell'orologeria orma più vasta, forse, che ogni altro, giacchè a lui sono dovute altre invenzioni d'importanza capitale, quali lo *scappamento a cilindro* e quello *ad ancora*. Altri sistemi avevano idesto ii Le Roy e l'Harrison poco oltre la metà del secolo XVIII: questi — crediamo nel 1767 — inventava il pendolo *a griglia* perfezionato poi sul principio del secolo XIX appunto dal danese Jurgensen, che applicava tutte le sue felici idee per la prima volta in un pendolo astronomico costruito d'ordine del re di Danimarca e da lui donato al *colonnello de Fallon* a Vienna: cotesto pendolo trovasi descritto nella classica opera del Jurgensen sopracitata, e che era stata pubblicata in danese nel 1805 ed aveva avuto subito, nel 1806, l'onore di una versione in tedesco.

alla distillazione dei carboni, a quella dei legni, dei godroni, dei petroli. E quando si passa alle applicazioni industriali della svaporazione, ecco sfilare le mille disposizioni per la svaporazione all' aria libera o nel vuoto, ad effetto semplice o ad effetti multipli; le innumerevoli varietà delle caldaie; gli essiccatoi per le materie le più difformi — per i legni e la carta, per le stoffe e le polveri —.

In altro ordine di applicazioni troviamo tutti gli apparecchi per disinfezione e sterilizzazione, che, dalle semplicissime stufe a gas, ad aria calda, ad

aria calda e vapore senza pressione, vanno agli apparecchi a vapore soprascaldato del Dobroslavine ed a vapore sotto pressione di Geneste e Herscher, alle stufe locomobili, agli apparecchi per la disinfezione dei carri ferroviari, a quelli che servono all'incenerimento degli oggetti provenienti dalle medicazioni e dei rifiuti di spazzatura delle sale degli ospitali. E' tutta una famiglia nuova, numerosa, svariata, — di apparecchi efficaci e di altri ostracizzati per

I vari tipi originari della *lampada di sicurezza* di H. Davy.

Ripr. della T. I, *Phil. Trans.*, a. 1816, parte I, Mem. orig. del Davy « *On the fire-damp of coal mines, and on methods of lightning the mines so as to prevent its esplosion* ». E' noto come l'inv. fosse bas. su la propr. delle reticelle met. di tronc. la fiamma.

la loro insufficienza — originata dalle scoperte del Pasteur e dagli studi del Needham intorno all' azione micidiale del calore sui microrganismi, e della quale lo sviluppo segnala alla gratitudine della umanità i nomi del Vallin, del Koch, di Max Gruber, del Vinay, del Salomonsen, del Levison, del Globig, dell'Huette, di cui le esperienze diedero alla costruzione sicurezza di indirizzo (1).

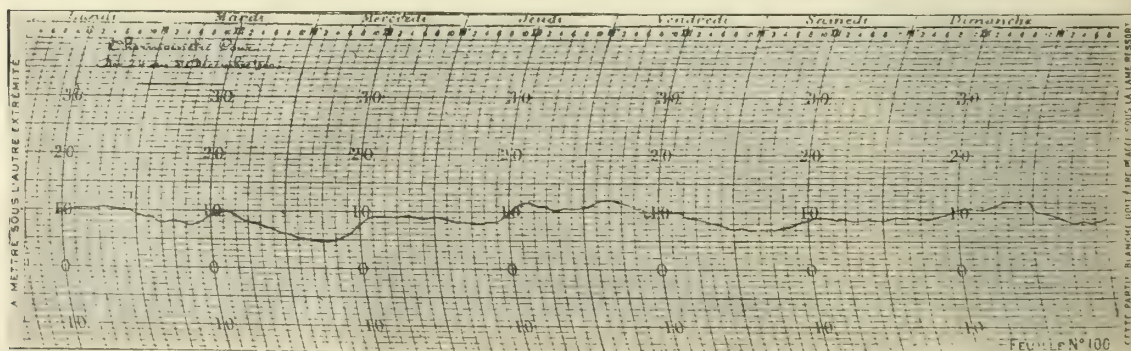
Ed ancora la enumerazione — la semplice enumerazione — delle ap-

(1) Già nel 1701 Leeuwenhoeck aveva scoperto che certi organismi animali, i rotiferi, presentano, disseccati preventivamente, una grande resistenza all'azione deleteria del calore secco. Lo Spallanzani aveva mostrato per contro, che muoiono se posti in acqua a 45°. Nel 1860 numerose esperienze fatte alla *Soc. de Biologie* stabilirono che i rotiferi possono rianimarsi dopo una permanenza di ottantadue giorni nel vuoto secco ed avere subito, immediatamente dopo, una temperatura di 100° durante trenta minuti. Questi fatti lasciavano prevedere la inefficacia del calore secco nelle disinfezioni: ed in realtà nelle prime stufe per disinfezione ad aria calda secca non si riusciva alla distruzione di certe spore e germi senza spingere la temperatura e la durata a tale che talvolta si danneggiavano gli oggetti sottoposti all'operazione. Di più la ripartizione della temperatura avveniva male: il Vallin, ad esempio, constatò che un termografo a massima al centro di un materasso non segnava che 50° dopo 5 ore di permanenza in una stufa a 118°. Risultati analoghi ebbe il Kock. Max Gruber dimostrò inefficaci le miscele di vapore e di aria secca, ed alle stesse conclusioni arrivarono il Vinay, e Salomonsen e Levison. Non migliori i risultati, sia del vapore soprascaldato — che agisce come un gas secco — sia — Globig, allievo del Koch, e Max Gruber — delle correnti di vapore saturante a 100°. Invece dagli studi dell'Hueppe risultò efficace il vapore saturante sotto pressione, per cui egli non esitava a dichiarare che «la pentola del Papin è l'apparecchio sterilizzante dell'avvenire, destinato a prendere a breve scadenza il posto occupato in Germania dalla stufa Koch a vapore fluente a 100°». Ed infatti le numerose esperienze successive hanno provato che la vera soluzione del problema della sterilizzazione rapida e sicura era quella preconizzata appunto dall'Hueppe. Vegg. *Arch. de méd. exp.*, marzo 1890, in *Ser, Traité de Phys. Ind.*, Paris, 1892, Masson, T. II, pag. 448.

plicazioni non è completa, poichè devono figurare pure tutti i sistemi di riscaldamento, nei quali i caminetti del Franklin e del Rumford sono andati cedendo il passo ai colossali caloriferi ad aria calda, ai termosifoni, agli apparecchi ad acqua e vapore mescolati, a quelli a vapore ad alta pressione, ed a quelle meraviglie che sono i grandi impianti per riscaldamento col vapore a bassa pressione dei maggiori edifici di pubblico servizio e di pubblica utilità. E' una vera rivoluzione, che ha portato il vapore a riscaldare luoghi i più umili e che consente, in America, di vederne fornite persino le stalle; una rivoluzione che ha permesso — pure in America — la distribuzione del calore ad intere città, ma che ha domandato una sequela di tentativi e di studi su mille e mille particolari di calcolazione, di costruzione, di impianto.

Che se lo sguardo si porta nel campo dei forni, trova pure veri oggetti che s'impongono all'ammirazione, posti al servizio di industrie le più disparate — della panificazione e della siderurgia, come della cottura delle porcellane e dei vetri. — Ed è nel secolo scorso che si è chiesto alla tecnica il mezzo perchè fosse incenerita la spoglia mortale dell'uomo in modo — apparentemente — meno barbaro di quel che usava l'antichità.

E se, dopo tutto cotesto in cui sono grandi manifestazioni dell'ingegno umano, l'attenzione scende a cose più piccole, quanti perfezionamenti, quante applicazioni nuove! Umili come la cassetta a soluzione di sali di sodio che d'inverno ci riscalda nel carrozzone ferroviario, come la pentola automatica, come il rozzo termometro da bigattiera, come la ingegnosa macchina da caffè, come il fornello dell'economia domestica; o nobili come l'organo compensatore del cronometro, come il calorimetro che permette in breve ora la determinazione del potere calorifico del combustibile, come la lampada del Davy che ha salvato e salva tante vite umane e tante ricchezze; umili o nobili — diciamo — per tutto ci appaiono applicazioni del calore che portano l'impronta del progresso del secolo XIX.

Onde, ove si considerino nel complesso storia della termologia ed applicazioni del calore, un fatto appare luminoso. Ebbe detto Bacone che il caldo ed il freddo sono le mani della natura: il secolo XIX ne ha fatto mani dell'uomo. Anzi, quando dalla sterminata serie dei particolari si assurge a sintetizzare il beneficio che l'uomo ha tratto da cotesto ordine di lavori, bisogna dire che il caldo e il freddo sono divenuti per lui ben più che mani: sono divenuti istrumento con cui ha potuto figgere lo sguardo più addentro nei segreti dell'universo.

Andamento della temperat nell'ultima settim. del sec. XIX, rilev. col termogr. Richard funzionante a Parigi, alla Casa costr. — Riprod. dalla cartina orig. cortesem. fav. dalla stessa Casa all'A.

L' *Aurora* di Guido Reni. — (Palazzo Rospigliosi, Roma).

L'OTTICA.

I.

Avanti il secolo XIX.

L'estasi in cui appare rapita la figura d'angelo scelta dal pittore inglese (1) a personificare il « senso della vista »; come le poetiche creazioni ispirate dall'*Iride* al pennello dell'Head (2) e del Millet (3), e dall'*Aurora* a quello del Guercino (4) e del Guido; come il linguaggio dei marmi scolpiti dall' « Angiol divino » ad ornamento delle tombe dei Medici; come cento e cento altre opere del genio delle arti, bene simboleggiano la potenza affascinatrice della luce, dicono l'impero che essa ha nel plasmare la vita stessa dell'uomo.

Figlia eletta del cielo, la luce è fonte all'uomo non soltanto di godimenti infiniti. Nella storia del pensiero essa ha una parte, una grande parte. Rivelatrice della natura, lo ha guidato nelle regioni più alte della metafisica alla scoperta del vero, lo ha condotto fino dall' antichità per la strada grande e sicura del metodo sperimentale.

E' cotesto un fatto che merita rilievo.

« Da Archimede (5) colla determinazione delle densità, si era dato, senza dubbio, il primo impulso alla vera filosofia della esperienza: Herone cogl'ingegnosi suoi automati, Vitruvio, Cleomede, Seneca (forse) avevano battuto la medesima via, ma di nessuno rimane così chiara testimonianza, come di Tolomeo, il quale misurando gli angoli di riflessione e quelli di rifrazione della luce per diverse incidenze e per varii corpi, confermò pienamente la legge

(1) Swinnerton, « *The Sense of Sight* » nella *Walker Art Galery*, Liverpool. — (2) Galleria di S. Luca, Roma. — (3) Museo del Louvre. — (4) Villa Ludovisi, Roma.

(5) Govi, Introduzione a *L'Ottica di Claudio Tolomeo*. Torino, Paravia, 1885.

della riflessione ammessa dai più antichi Geometri, e tentò di scoprire quelle che seguono i raggi allorchè si rifrangono ».

E siccome i risultati dell'esperienza furono, a Tolomeo, base delle deduzioni geometriche, così con lui — è a dirsi — fu praticata la vera filosofia sperimentale: la luce aveva dato al pensiero umano il grande beneficio.

« *The Sense of Sight* ». Quadro di Swinnerton.

L'essersi incamminato lo studio della luce per cotesta via non doveva però bastare perchè vi seguitasse. Troppo prepotente, ed universale, per secoli e secoli, rimase la signoria — sul pensiero — dell'indirizzo scolastico deduttivo perchè l'ottica potesse sottrarvisi, e, rompendo i ceppi, svilupparsi rigogliosamente.

Resta tuttavia meritevole di nota il fatto che, a differenza di quanto avvenne per gli altri rami della fisica, essa abbia avuto nel filosofo di Pelusio — o, come si vuole da alcuni, di Ptolemaide nell'Egitto — indirizzo sano, e che, grazie a lui, fino dal secondo secolo dell'Era Cristiana, sia assurta a corpo di scienza ed abbia avuto — come già occorse di accennare — un suo trattato — ancora nel secolo XIX oggetto e di grande considerazione e di studio (1).—

(1) « Dell'*Ottica* di Tolomeo si perdettero presto, o si corruppero i Codici greci, poichè gli Arabi che vollero tradurli li rinvennero mutili di un libro intero e di buona parte di un altro. La traduzione Araba si fa risalire dal Caussin al regno di Almamoun (813-833), cioè a quasi sette secoli dopo Tolomeo; quella fatta in lingua latina da Eugenio Ammiraglio di Sicilia su due codici Arabi, sarebbe del secolo XII (l'Amari crede che l'Ammiraglio Eugenio sia stato contemporaneo di re Ruggero, morto nel 1154) .. Della traduzione dell'*Ottica* di Tolomeo fatta dall' Ammiraglio Eugenio si conoscono attualmente quattordici Codici che si possono così disporre secondo l'ordine probabile della loro data :

1.° Secolo XIV. Codice della Biblioteca Ambrosiana di Milano, segnato : T 100. Parte superiore.
2.° forse del princ. del XV. Codice della Biblioteca pubblica di Basilea, segnato : F. II. 33.
3.° Secolo XV. Codice della Biblioteca Reale di Berlino, segnato *Manuscripta latina*, Fol. 283.
4.° « XVI. Codice della Biblioteca Bodleiana d'Oxford, segnato : Savile 24.
5.° « XVI. Codice Vaticano, n. 2975.
6.° « XVI. Codice posseduto dal principe Don Baldassarre Boncompagni, segnato n. 314
7.° fine del XVI, o principio del XVII. Codice della Biblioteca del Collegio Romano, segnato H. C. 9?.
8.° Secolo XVI, o XVII. Codice della Biblioteca Ambrosiana di Milano, segnato : D. 451, Parte inferiore.
9.° « XVII. Codice della Nazionale di Firenze, segnato II, III, 35.
10.° « « Codice della Nazionale di Firenze, segnato : Classe XI, n. 64 e 65.
11.° « « Codice della Nazionale di Parigi, segnato : *Fonds Latin* n. 10260.
12.° « « Codice della Nazionale di Parigi, segnato *Fonds Latin* n. 7310 (proveniente a quanto pare dalla Biblioteca del Beaullieau).
13.° fine del XVIII. Codice che apparteneva al celebre Geometra Michele Chasles, Membro dell'Istituto (è copia del ms. 7310 della Biblioteca Nazionale fatta fare dal Caussin o dal Delambre alla fine del secolo scorso). La filigrana della carta porta H. PETIT, 1782.
14.° Secolo XIX (del 1820) Codice della Biblioteca Reale di Berlino, segnato : Mss. lat. fol. 202 (copia del mss. Parigino *Fonds Latin*, n. 7310).

Tutti questi codici sono posteriori di molto al tempo nel quale (secondo ogni probabilità) venne fatta la traduzione del libro di Tolomeo dall'Ammiraglio Eugenio (1150 ?) e però nessuno di essi può considerarsi come originale ». GOVI *Introduzione* cit.

Si è riferito cotesto elenco dei codici perchè da esso il lettore potrà argomentare l'interesse costante che il libro di Tolomeo ha conservato nel corso dei secoli, compreso il XIX. Aggiungeremo che di tutti, a giu-

Un altro fatto è a notarsi e riguarda le teorie su la natura della luce. Per il fisico essa, oggi, è effetto di vibrazioni e di ondulazioni, e l'idea della sua immaterialità è antica quanto il Περὶ ψυχῆς — il trattato *Dell'anima* — del filosofo di Stagira (1): ma ancora nella prima metà del secolo XIX, alla teoria delle ondulazioni non era sbarazzato completamente il campo dai sostenitori di quella dell'emissione. Ce lo dice l'Arago. Lo stato della scienza a quell'epoca è, infatti, meglio che in qualunque altro scritto, riassunto dalle poche parole con cui l'Arago comincia quella « *Notice sur la polarisation* » che egli dettò nel 1824 per l'Enciclopedia Britannica, e la cui pubblicazione diede luogo ad una lettera molto vivace dell'illustre scienziato francese ad un altro uomo tra i più eminenti, dell'Inghilterra, Thomas Young (2).

dizio del Govi, il migliore è il primo dell'elenco; e di esso il fisico italiano si valse per la pubblicazione dell' opera, fatta nel 1885 per sapiente deliberazione della R. Accademia delle Scienze di Torino.

Non è però a dimenticarsi come, molti secoli prima di quello del Tolomeo, qualunque età si assegni a questo, l'antichità avesse prodotto il trattato di Euclide, in — cui Priestley, *History and present State of Discoveries relating to Vision, Light and Colours*, Londra, 1772 — le leggi della riflessione sono applicate agli specchi piani, convessi e concavi, ed in cui tra altro è notevole il teorema 29.° del II libro che tratta dell'immagine che può formare lo specchio concavo tra l'osservatore e lo specchio.

Su la storia dell'ottica è pure ad osservarsi come dopo Tolomeo essa presenti una grande lacuna. I primi scritti che siano a nostra notizia successivi al libro del matematico di Pelusio sono quelli del 900 circa — di Al Farabi — e del 1000 — di Ebn Aithem —: ma dei primi nulla si sa di particolare; del secondo, quantunque gli scritti siano pure andati smarriti, si sa — unicamente, Priestley, *op. cit.* — che scrisse della visione diretta, per riflessione e per rifrazione. Rimase invece l'Alhazen — 12.° secolo — il quale diede una descrizione dell'occhio che il Priestley chiama *tollerabile*, rilevò l'importanza del cristallino — non considerato, però, come lente —, si occupò dell'unicità dell'immagine — notando che la visione non è completa fino a quando le idee degli oggetti esterni non siano portate al cervello dai nervi — e trattò di illusioni ottiche tanto nella visione diretta quanto in quella per luce riflessa o rifratta.

Toltine cotesti arabi — dei quali non deve meravigliare che si occupassero di ottica, giacchè in quel periodo si trovano coltivate dagli arabi le matematiche e la filosofia — dal Tolomeo e da Eliodoro di Larissa — di epoca incerta, ma posteriore a Tiberio poichè nei suoi scritti ne fa menzione — si ha presso l'occidente una lacuna di un migliaio di anni negli studi dell'ottica, giacchè per trovarne bisogna venire al 1270 quando il polacco Vitellione pubblicava il suo trattato, ed agli scritti dei contemporanei suoi, Ruggero Bacone e Peccam, l' arcivescovo di Canterbury a cui si deve il trattato di ottica *diretta* — o prospettiva come venne chiamata poi —; e da questi saltare all'epoca del celebre Maurolico — maestro di matematica a Messina — il cui *De lumine et Umbra* apparve nel 1575: è questa l'epoca in cui gli studi di ottica cominciano a prendere nella economia generale del movimento del pensiero una importanza di primo ordine per copia e profondità, e ad avere la più alta portata filosofica.

(1) Aristotele nel trattato ricordato sopra — Lib. II, cap VIII, p. 453 del Vol. III, ediz. Didot — ha questo passo veramente mirabile: «La luce nè è fuoco, nè affatto un corpo, nè efflusso di corpo qualsiasi (giacchè anche in siffatto caso sarebbe corpo): bensì è presenza, nel corpo luminoso, di fuoco o di alcunchè della stessa natura; e non può avvenire che nel medesimo spazio si trovino contemporaneamente due corpi. È manifesto pure che la luce è l'opposto delle tenebre; dunque le tenebre sono assenza, da ciò che può splendere, di siffatto modo di essere; dal che segue che la luce è la presenza di questo.» E prosegue ad argomentare su la immaterialità della luce, in modo che lascia dubitare come Aristotele pensasse forse che la luce impieghi tempo nel propagarsi. « In errore furono Empedocle e quanti lo abbiano seguito, col dire che la luce possa trasportarci e venire tra la terra e lo spazio ambiente senza che ciò sia avvertito da noi. Cotesto infatti ed oltrepassa i retti confini della ragione, ed è contrario a quanto vediamo: potrebbe il moto celarsi per un piccolo spazio; è soverchio il chiedere che ciò sia da ammettersi per il tragitto dall'oriente all'occidente » Si direbbe quasi che l'argomentazione del grande filosofo greco sia questa: la luce impiega tempo per propagarsi; se non fosse immateriale, cotesto moto dovrebbe essere avvertito. Questo è certo, che nel filosofare su la natura della luce, Aristotile ebbe nettamente i concetti affatto moderni della energia potenziale e di quella attuale. Poco prima del brano sopra riferito egli scrive infatti: « La luce è la potenza in atto del corpo visibile, in tanto in quanto è visibile: e nella potenza in cui ciò è, sono pure le tenebre ». La parola tradotta con «potenza» è nel testo greco precisamente ἐνέργεια (*energheia*).

(2) Arago, *Oeuvres Complètes* T. VII. Paris, Gide; Leipzig, Weigel; 1858; pag. 291 e seg.

Della lettera accennata — causata dall'essere l'Arago in ritardo nella consegna del manoscritto, che il Young doveva tradurre in inglese — la minuta fu lasciata dall'autore annessa a quella dell'articolo. Ne togliamo qualche brano, che vale a dare l'idea della suscettibilità di carattere di quell'uomo insigne; una suscettibilità che si tradiva perfino nei processi verbali delle sedute dell'*Académie des Sciences*. Essa comincia così: « Mon cher confrère. J'aurais bien de la peine, à Vous exprimer combien je fus contrarié en revenant de Calais à Paris d'ap-

« Jusqu'à ces dernières années » scrive l'Arago « la plupart des physiciens, la presque totalité des géomètres, s'étaient accordés à regarder les rayons de lumière comme composés de molécules extrêmement petites que les corps lumineaux lançaient dans toutes les directions avec de très-grandes vitesses ». Ecco come la pensavano ancora nel primo quarto di secolo *la maggior parte dei fisici* e *la quasi totalità dei geometri.*

Indubbiamente, aveva nociuto allo stabilirsi delle idee che Cristiano Huygens aveva pubblicato fino dal 1690 nell' immortale trattato di ottica — in cui sono esposte la concezione dell'etere luminifero e le conseguenze che ne derivano pel propagarsi delle onde — indubbiamente, diciamo, aveva nociuto l'essersi il Newton — pure nel trattato di ottica — discostato da quelle idee — da lui accettate su le prime — ed informato invece alla teoria della emissione (1). Certo è che l'ultimo colpo alla teoria della emissione non fu dato che alla metà del secolo XIX, con le celebri misure del Foucault — di cui dovrà dirsi più avanti — su la velocità di propagazione della luce nell'acqua.

Che se i nomi dell'Huygens e del Newton sono quelli che più spiccano nella storia delle idee su la natura della luce, non è però a dimenticarsi come negli ultimi secoli del periodo storico di cui stiamo discorrendo ragionassero di essa il da Vinci ed il Des-Cartes, il Galilei e l' Hooke, il Vossio ed il Pardies (2).

Quanto al patrimonio di cognizioni positive andatosi accumulando nel corso dei secoli, notiamo subito quelle su la velocità di propagazione.

Il Galileo (3) aveva nettamente argomentato che la propagazione *del lume* non fosse istantanea, e — 1632 — aveva sperimentato per conoscerne,

prendre que Vous en etiez parti ; je ne le suis pas moins maintenant, puisque madame Arago m'annonce que Vous êtes fâché au vif contre moi. Le fait paraît certain; reste à savoir quels sont les motifs. On dit que je n'ai pas *daigné* répondre à vôtre dernière lettre. Ce mot *daigné* m'avait paru, je l'avoue, singulier sous votre plume.... Aussi m'étais je flatté qu'il était la traduction inexacte d'un mot anglais qu'on avait mal entendu: mais cette ressource même m'est enlevée: la lettre où ce mot se trouve est écrite en français...» E dopo una proposta, prosegue: « Examinez, je Vous prie, ma proposition, jugez-la, et *daignez* me faire connaître votre opinion et celle de M. Napier . . . ». La proposta accennata era quella che Sir Napier continuasse la pubblicazione dell'Enciclopedia, lasciando nella numerazione delle pagine una lacuna determinata, che sarebbe stata poi colmata con l'articolo dell'Arago.

(1) La teoria dell'Huygens non era completa : vi mancava il principio delle interferenze — scoperto dal Young e da lui pubblicato nel 1802 —

Il Newton non avendo saputo rendersi ragione, in base ad essa, dei fenomeni degli anelli colorati delle lamine sottili da lui stesso scoperti, si decise ad abbandonare la teoria delle ondulazioni e seguire invece quella dell'emissione.

(2) Del Vossio. «*De lucis natura et proprietate. — Amstelodamii, apud Lodovicum et Danielem Elzevirios*, 1662» è notevole il brano seguente che si trova a pag. 5 : « Poichè il calore, o fiamma, non è corporeo, molto meno può essere corporea la luce. So bene che molti vi furono e vi sono ancora che pensano altrimenti della luce, e pretendono che i raggi di essa siano composti di corpuscoli: ma affinchè si conosca... » e prosegue pigliandosela molto energicamente col Des-Cartes coi dire che egli « in cotesto principalmente fu astuto dell'avere premesso dei principî molto piani e perspicui e dell'avere poi, abbandonatili, messo fuori cose che nè colla vista nè coi sensi si possono percepire, come globuli, particelle striate, ed elementi invisibili. Posto, non provato, tutto ciò, comincia a filosofare ; e, per verità, ove vengono a mancare occhi e sensi, là appunto comincia la libertà del creare ».

(3) *Giornata prima*; pag. 76 e segg. del Vol. 8 dell'edizione della *Società Tipografica dei Classici Italiani*, Milano, 1811.

Riportiamo qui il brano di maggiore interesse dal quale traspare quanto il Galileo avesse avuto d'intuizione anche in cotesto argomento.

Cotesta intuizione risalta tanto maggiormente quando si pensa che ancora mezzo secolo dopo la morte di quel sommo si scriveva, nell' *Histoire de l'Ac. d. Sc.*, che la nozione della necessità di un tempo perchè la luce si propaghi era « *une verité de Physique ignorée jusque là* » — cioè fino al 1676, anno a cui si riferisce cotesta citazione, e nel quale venne fatta la determinazione del Roemer — « de tous les Philosophes, et tellement

la velocità, senza, per altro, che l'esperienza — fatta con mezzi sproporzionati all'enorme valore della grandezza da misurare — lo portasse a risultato di sorta. Invano pure, col metodo da lui ideato — osservando il tempo che impiegava a propagarsi la luce di un fuoco acceso a distanza nota — cercava il Rinaldini; come andavano frustrati i tentativi degli Accademici del Cimento basati su l'idea di osservare il tramonto della luna in un dato punto da luoghi diversamente lontani. L'idea fondamentale era buona, ma i mezzi per la valutazione del tempo erano ancora troppo lontani della squisitezza voluta.

Le prime determinazioni sono una gloria della scienza francese, e vennero fatte — 1676 — (1) da

La riflessione e la rifrazione della luce nell'*Ottica* di Claudio Tolomeo.

Rip. fotogr. delle fig. a fol. 83 *v.* e 131 *v*, del celebre codice del secolo XIV *T. 100, p. s.* dell'Ambrosiana. È codice di nitidezza squisita ed in ottimo stato di conservazione.
Legg. espl. — Nella sec. fig. il semicerchio rappres. una delle teste di un semicilindro di vetro.

ignorée, que le contraire étoit presque un principe constant ». Ma ecco senz'altro il brano dei *Dialoghi sui Massimi Sistemi*:

« *Salv.* La poca concludenza di queste, e di altre simili osservazioni mi fece una volta pensare a qualche modo di poterci senza errore accertare, se l'illuminazione, cioè se l'espansion del lume fosse veramente istantanea: poichè il moto assai veloce del suono ci assicura, quella della luce non poter essere se non velocissima. E l'esperienza, che mi sovvenne, fu tale. Voglio che due piglino un lume per uno, il quale tenendolo dentro lanterna, o altro ricetto, possano andar coprendo, e scoprendo coll'interposizione della mano alla vista del compagno; e che ponendosi l'uno incontro all'altro in distanza di poche braccia vadano addestrandosi nello scoprire, ed occultare il lor lume alla vista del compagno: sicchè quando l'uno vede il lume dell'altro, immediatamente scuopra il suo: la qual corrispondenza dopo alcune risposte fattesi scambievolmente verrà loro talmente aggiustata, che, senza sensibile svario alla scoperta dell'uno risponderà immediatamente la scoperta dell'altro, sicchè quando l'uno scuopre il suo lume, vedrà nell'istesso tempo comparire alla sua vista il lume dell'altro. Aggiustata cotal pratica in questa piccolissima distanza ponganṣi i due medesimi compagni con due simili lumi in lontananza di due, tre miglia; e tornando di notte a far l'istessa esperienza, vadano osservando attentamente, se le risposte delle loro scoperte, e occultazioni seguono secondo l'istesso tenore, che facevano da vicino; che seguendo si potrà assai sicuramente concludere, l'espansion del lume essere istantanea; che quando ella ricercasse tempo, in una lontananza di tre miglia, che importano sei, per l'andata di un lume, e venuta dall'altro, la dimora dovrebbe essere assai osservabile. E quando si volesse far tale osservazione in distanze maggiori, cioè di otto o dieci miglia, potremmo servirci del telescopio, aggiustandone uno per uno gli osservatori al luogo, dove la notte si hanno a mettere in pratica i lumi, li quali ancorche non molto grandi, e perciò invisibili in tanta lontananza all'occhio libero, ma ben facili a coprirsi, e scoprirsi, coll'aiuto dei Telescopj già aggiustati, e fermati potranno essere comodamente veduti.

Sagr. L'esperienza mi pare d'invenzion non men sicura che ingegnosa, ma diteci quello che nel praticarla avete concluso.

Salv. Veramente non l'ho sperimentata, salvo che in lontananza piccola cioè manco d'un miglio, dal che non ho potuto assicurarmi se veramente la comparsa del lume opposto sia istantanea, ma ben se non istantanea, velocissima, e direi momentanea è ella, e per ora l'assimiglierei a quel moto che vediamo farsi dallo splendore del baleno veduto tra le nugole lontane otto o dieci miglia, del qual lume distinguiamo il principio, e dirò il capo e fonte in un luogo particolare tra esse nugole; ma ben immediatamente segue la sua espansione amplissima per le altre circostanti, che mi pare argomento quella farsi con qualche poco di tempo; perchè quando l'illuminazione fusse fatta tutta insieme e non per parti, non par che si potesse distinguere la sua origine, e dirò il suo centro dalle sue falde e dilatazioni estreme ».

(1) *Histoire de l'Acad. R. d. Sc.*, T. I, a. 1733, p. 214.

Olao Roemer, danese, che il Picard aveva condotto seco nel 1671 (1), al ritorno dal suo celebre viaggio all'Isola Hven — nel Sund. — Il Cassini aveva richiamato l'attenzione degli astronomi su la opportunità tutta speciale di osservazioni dei satelliti di Giove nel 1676 e nell'anno successivo, a motivo di mutazione nella loro disposizione, la quale avrebbe dovuto far luce su le idee del Galileo relativamente a cotesti *pianeti medicei* da lui scoperti. Ora « les révolutions du premier Satellite de Jupiter étant très exactement calculées et en très-grand nombre, et par conséquent toutes les Eclipses causées par l'ombre de Jupiter, il se trouvoit toujours qu'en certains tems il sortoit de l'ombre quelques minutes plus tard, et dans d'autres plûtôt qu' il n'aurait dû faire . . .

En comparant ces tems les uns aux autres, M. Roëmer vit que le Satellite sortoit plus tard de l'ombre justement quand la terre par son mouvement annuel s'éloignoit de Jupiter, et plûtôt, quand elle s'en approchoit. Delà, M. Roëmer commenca à former cette conjecture ingénieuse. Que la lumiere pouvait employer quelque tems à se réprendre. Cela supposé, si le Satellite sortoit plûtard de l'ombre quand nous étions plus éloignés de lui, ce n'étoit pas qu'il en sortit effectivement plûtard, mais sa lumiere étoit (*sic*) plus de tems à venir jusqu' à nous, parce que, pour ainsi dire, nous avions fui devant elle. Au contraire, quand nous allions à sa rencontre, le séjour du Satellite dans l'ombre nous devoit paroître plus court » (2).

Il ritardo fu confermato da osservazione fatta di proposito dal Roëmer — data memorabile — il pomeriggio — alle 5. 35'. 45" — del 9 novembre 1676 (3) in cui l'eclisse avvenne dieci minuti più tardi del momento nel quale avrebbe dovuto aversi; ed il Roëmer ne dedusse che la luce percorreva 48.203 e $\frac{377}{1141}$ *leghe comuni* di Francia.

Cotesto numero è lontano dal vero. « E' ben noto » scriveva il Bradley (4) « che il signor Romer (*sic*) il quale per il primo osservò una ineguaglianza nell'epoca delle eclissi dei satelliti di Giove, nella ipotesi di un moto progressivo della luce, suppose ch'essa impiegasse circa 11 minuti primi di tempo nel passare dal Sole a noi: però si concluse da altri su coteste eclissi che essa si propaga in circa 7 minuti.... ».

(1) *Hist. d. l'Ac. R. d. Sc.* T. I p. 146, e seg. Il viaggio del Picard aveva avuto per iscopo di collegare con le osservazioni astronomiche sue e dei suoi contemporanei quelle che il celebre astronomo Ticone Brahe aveva fatte all'osservatorio da lui eretto all'isola Hven nella località che egll chiamò — e si chiama tuttora — Uranienborg. Il viaggio — segnato, al primo giungere del Picard ad Uranienborg, da un'amara delusione, perchè invece dell'osservatorio, che era stato finito verso il 1580, non trovò, lo scienziato francese, che « une espèce de enclos où l'on jettoit des carcases de bêtes » — fu invece coronato, oltre che dai risultati che l'*Académie des Sciences* si era proposto nello stabilirlo, anche da due altri frutti importanti. Anzitutto il Picard ottenne da Cristiano V, re di Danimarca — per la intromissione di Erasmo Bartholin, il celebre medico e matematico — l'originale delle osservazioni di Ticone, delle quali una parte era ancora inedita, e l'altra era stata maltrattata con la stampa fattane in Germania « sur des copies très défectueuses, et avec une infinité de fautes essentielles ». Poi « il compta aussi pour un des principaux fruits de son voyage, d'avoir amené en France avec lui un jeune Danois, nommé Olaüs Roëmer, qui fut ensuite un des plus illustres Membres de l'Académie des Sciences ».

(2) *Hist.* citata, T. I, p. 213.

(3) *Mém. de l'Acad. R. d. Sc., depuis 1666 jusqu'à 1699*, T. X, 1730, pag. 577.

(4) « *A letter from the Reverend Mr. James Bradley Savilian Professor of Astronomy at Oxford, and F. R. S. to Doctor Edmond Halley Astronom. Reg. etc. giving an Account of a new discovered Motion of the Fixed Stars* » in *Phil. Trans.* N. 406, dic. 1728, p. 653.

In realtà anche cotesta cifra è — in senso opposto — difforme dal vero. Un valore assai più prossimo al vero lo dà il Bradley stesso — poco prima del passo testè riportato — deducendolo dal fenomeno da lui scoperto dell'*aberrazione* delle stelle fisse: egli calcola infatti la velocità della luce 10210 volte quella dell'occhio osservante le stelle, e, ritenendo cotesta dell'occhio uguale a quella della terra, conclude « che la luce si muove o si propaga così che dal Sole giunge alla terra in 8′ 12″ ».

E', cotesta del Bradley, l'altra determinazione di velocità della luce anteriore al secolo XIX, e deve essere segnalata come una delle cose più notevoli nella storia della scienza, vogliasi per la scoperta alla quale si collega, vogliasi perchè il valore trovato per la velocità della luce entra nell'ordine di quelli che si approssimano al vero (1).

Così dunque al principio del secolo XIX la velocità di propagazione della luce — grazie alla sagacia dell' insigne astronomo inglese — si poteva dire ben conosciuta.

Su la riflessione, risulta dall' *Ottica* di Tolomeo che fino dall' antichità ne erano note — per esperienza — le leggi — applicate, anche, alla riflessione dei raggi operata da superficie curve. — Seneca, anzi (2), parla già di specchi ad immagini multiple — « che moltiplicano ogni corpo

D C B H G L A K E

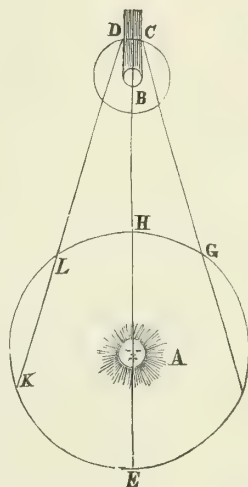



Fig. illustrante il met Roëmer per la determ. della veloc. di prop. della luce med. l'osserv. delle eccl. dei sat. di Giove.
Ripr. della fig. orig. in *Mém. de l'Ac. d. Sc.*, T. X, p. 580, Tav. IV, fig. 4.

(1) La relazione del Bradley è costituita dalla lettera precedentemente citata — una lunga lettera, che occupa le pag. da 637 a 660, ed ha ancora un poscritto. — Risulta da essa che il Bradley, avendo intorno ai primi di novembre del 1725 compiuto il collocamento di un canocchiale del Molyneux, osservava il 3 dicembre successivo la stella brillante nella testa del *Dragone* (segnata γ da Bayer). Osservazioni ripetute il 5, 11, 12 dicembre non gli avevano dato mutazione apparente nella posizione di essa. Ma il 17 egli cominciò a trovare una differenza, che però ritenne dovuta ad incertezza di osservazioni. Senonchè il 20 trovò ancora uno spostamento verso sud, e cotesta volta, non potendo più attribuire il fatto ad errori di osservazione, cominciò a pensare alle cause probabili. « Intorno al principio di marzo la stella fu trovata 20'' più al sud che all' epoca della prima osservazione ». Parve allora che essa fosse giunta all'estremità del suo spostamento in quella direzione; ed in Aprile sembrò ritornasse verso il nord; al principio di giugno passò alla stessa distanza dallo zenit che aveva dato in Dicembre all'epoca della prima osservazione. Dopo altre determinazioni fatte con un altro cannocchiale, il Bradley non ebbe più dubbio sul fatto, e si diede a meditare su le cause. « Ero già convinto » scrive egli — pag. 646 — « che il moto apparente della stella non proveniva da una mutazione dell'asse terrestre. Il primo pensiero che mi si presentò fu quello di un'alterazione nella direzione del filo a piombo con la quale l'istrumento era stato costantemente rettificato: ma dovetti ritenere cotesta una causa insufficiente. Dovetti pure escludere che si trattasse di un effetto dovuto alla rifrazione. All'ultimo pensai che cotesti fenomeni dipendessero dal moto progressivo della luce e da quello annuo della Terra nella sua orbita. Pensai che se la luce nel propagarsi richiedeva del tempo, la posizione apparente di un oggetto fisso, quando l'occhio fosse stato immobile, non doveva essere la medesima che quando esso si moveva in una direzione qualsiasi diversa da quella della linea passante per l'occhio e per l'oggetto; e che quando l'occhio si moveva in direzione opposta, opposta doveva essere la posizione apparente dell'oggetto ».

Il lettore potrà chiarire bene il concetto del fenomeno pensando ad un projettile che attraversi un carrozzone ferroviario da un fianco all'altro, e sia stato lanciato in direzione perpendicolare a coteste pareti. Ove il carrozzone sia immobile, esso sarà attraversato appunto in direzione perpendicolare ai fianchi; ma ove sia in moto, la parete di uscita sarà colpita in un punto diverso, e la direzione del proiettile nel carrozzone sara obliqua. Così nei periodi in cui il moto della terra nella sua orbita è perpendicolare ai raggi provenienti dà una determinata stella, il raggio luminoso, a motivo del tempo che deve impiegare nel passare dall'obiettivo all'oculare, percorrerà il cannocchiale in direzione diversa da quella che avrebbe avuto se nel frattempo il telescopio fosse rimasto immobile; e da cotesto spostamento — che sei mesi dopo sarà di senso opposto — essendo nota la velocità di traslazione della Terra nella sua orbita, è possibile dedurre l' altra con cui la luce percorre il tubo dell'istrumento.

(2) *Questiones Naturales*, lib. I, cap. VI.

che imitano ». Come errò il Tolomeo — è a dirsi, tuttavia — così si errò fino al Tchirnhausen — *Acta Eruditorum*, 1682 — nel considerare un punto il luogo — reale, o virtuale — di concorso dei raggi inviati ad uno specchio, sia paralleli tra loro, sia provenienti da un punto. Le superficie alle quali dànno luogo — *caustiche* — non vennero scoperte e considerate che appunto dal Tchirnhausen; poi le considerarono il De La Hire — *Mém. de l'Ac. d. Sc. dep. 1666 jusqu'à 1699*, T. IX — Giovanni Bernoulli — *Opera* 1-52— e Giacomo Bernoulli — *Acta Eruditorum*, 1693 —.

Della rifrazione invece, — malgrado le determinazioni di angoli di rifrazione fatte dal Tolomeo, per l'acqua e per il vetro, e per il passaggio dall'una di coteste sostanze all'altra, passaggio considerato sia dal mezzo meno denso verso l'altro, sia in ordine inverso; malgrado anche determinazioni posteriori — la vera legge non fu trovata che nel secolo XVII dallo Snellius, e messa — è a ritenersi — sotto la forma, con la quale viene comunemente data, dal Cartesio.

« Cotesta misura della rifrazione » — scrive l'Huygens — (1) dall'arabo Alhazen e da Vitellione era stata altra volta definita, non come il rapporto dei seni, ma con quello medesimo degli angoli, ed in qualche modo confermata con alcuni esperimenti. Senonchè, trovandosi quel rapporto differire dal vero nel caso di maggiori inclinazioni, coloro che vennero dippoi stimarono doversi fare investigazioni diligenti. In esse però Keplero, malgrado molti tentativi, riusciti vani, non potè giungere alla verità: tuttavia, con le sue congetture e con i suoi apparecchi, giovò molto agli studi dei posteri. Dopo di lui, Willebrod Snellius, poichè la cosa si presentava di interesse ancora maggiore a motivo dell'invenzione del telescopio, con grande lavoro e molti esperimenti, arrivò a conseguire le misure della rifrazione » (2).

Subito dopo — comunicazione 31 agosto 1664 alla *Royal Society*, e lettera del 3 nov. successivo, all'Oldenburg — la storia registra esperimenti, su la rifrazione, del Boyle, che la studiava — nello spirito di vino, nell'acqua, nell'acqua salata, nel terebenteno, nelle soluzioni di allume, salgemma, vetriolo, — istituendo confronti, dai quali si vede come fosse compreso non essere il rapporto dei seni uguale a quello delle densità. L'Hooke — 11 febbraio 1663 (?) — aveva fatto conoscere che il ghiaccio è meno rifrangente dell'acqua, ed il Lowtorp — 1698 — sperimentato sul vuoto torricelliano e su diverse sostanze, come rilevasi dagli sperimenti dell'Hooke pubblicati dal Derham. Gli studi su la rifrazione andarono divenendo sempre più importanti; nel 1708 — 15 giugno — a Londra, con un apparecchio costruito dall'Hauksbee sotto la direzione dell'Halley, se ne faceva uno rimasto celebre e relativo appunto al vuoto; l'Hauksbee, poi, determinava il potere rifrangente di altre cinquanta sostanze; Leonardo Eulero — Pubblic. dell' Acc. di Berlino, 1756, pag. 237 — avendo misurato le distanze focali di una lente for-

(1) *Christiani Hugenii Opuscola postuma, Amstelodamii*, 1728, *Dioptrica*, p. 2.

(2) In quale conto fosse tenuta cotesta scoperta dello Snellius si può rilevare dal Vossio — *De lucis nat. et prop.* già cit., pag. 36 — Dice egli che « in tutta l'ottica nessun teorema vi è più nobile e più utile » di codesto dello Snellius, che il Vossio potè rilevare « da tre libri di ottica dati a prestito nell'inverno antecedente dal figlio del Vossio ». E dopo averlo spiegato, lo riassume in cotesta forma, la cui solennità dice bene l'importanza della legge nel pensiero del Vossio: « dico dunque che Iddio, solo ed ottimo architetto della Natura

mata da due vetri convessi a menisco e riempita successivamente di acqua e di spirito di vino — 8 piedi e 5 piedi, rispettivamente — proponeva cotesto mezzo come il più sicuro per giungere a misurare in modo preciso il potere rifrangente delle diverse sostanze; e Giovanni, figlio di lui — Berlino, Accad. 1762 — realizzava le idee del padre sperimentando su una ventina di liquidi, e, su alcuni fra essi, ripetutamente.

Su la rifrazione atmosferica il Priestley — op. cit. p. 83 — ricorda una disputa tra Ticone Brahe e Rothman, matematico del landgravio di Assia, contrario all'opinione che il grande astronomo della Scania condivideva con l'Alhazen ed il Vitellione che essa dipendesse da differenza tra l'aria e l'etere: certo ai tempi di Keplero essa venne studiata da Ticone, che costruì anche delle tavole — abbastanza esatte — a motivo della importanza, da lui vista, che essa ha per l'astronomia. La studiarono pure intorno al 1600 Bernardo Walther, Moestlin ed altri; più avanti l'Hooke osservava la necessità di tenerne conto nella misura delle altezze dei monti; il Lambert ne faceva l'applicazione, e se ne valeva a correggere determinazioni fatte dal Cassini; Eulero — 1754, Atti Acc. di Berlino, 132, 138 — considerava il potere rifrangente dell'atmosfera a diverse temperature; e finalmente, poco prima che il secolo XVIII tramontasse, il Monge — seduta dell'11 fruttidoro, anno 6, dell'*Institut* del Cairo — dava la teoria del miraggio (1), mentre il Kircher, della *fata morgana* da lui osservata nel 1636, già aveva parlato — pag. 800 — fino dalla prima edizione del suo *Ars Magna lucis et umbrae*, stampata a Roma nel 1646.

Cotesto riguarda la rifrazione semplice. La doppia veniva scoperta, come è noto, nel 1669 da Erasmo Bartholin di Copenhagen — il celebre dotto, di cui già si fece il nome a proposito dei manoscritti di Ticone Brahe —

impose ai raggi che passano per mezzi differenti questa legge, che tutti senza eccezione (*omnes omnino*) i raggi veri ed apparenti serbino sempre reciprocamente il medesimo rapporto ». Cioè che il raggio *ag* sia di *ae* quella stessa frazione che *sl* è di *sr*, *nq* di *np*; *fd* di *fy*. Dalla costanza di cotesto rapporto si deduce facilmente la legge quale venne data dal Cartesio.

Schema dim. della legge della rifraz. della luce secondo lo Snellius.

Ripr. della fig. a pag. 37 dell'op. orig. del Vossio cit. nel testo — nota 2, pag. 318.

(1) Della comunicazione del Monge gli *Ann. de Ch.* anno VII — 1799 — danno — T. XXIX, pag. 207 — il seguente estratto testuale: « A la mer il arrive souvent qu' un navire apperçu de loin, paroît tout-à-fait dessiné dans le ciel, et n'être point supporté par l'eau Un effet analogue a frappé tous les Français pendant la marche de l'armée à travers le désert. Les villages, aperçus dans le lointain, paroissoient bâtis sur une île au milieu d'un lac. A mesure qu'on en approchoit, la surface apparente d' eau se rétrécissoit; lorsqu' on n' etoit plus qu' à une petite distance, elle disparoissoit, et l' illusion recommençoit pour le village qui suivoit celui où elle venoit d'être détruite»

« Le cit. Monge attribue cet effet à la diminution de densité de la couche inférieure de l' atmosphère Cette diminution dans le désert est produite par l' augmentation de température qui est le résultat de la chaleur communiquée par le soleil aux sables avec lequels cette couche est en contact immédiat. A la mer, elle a lieu lorsque, par des circostances particulières, telles que l'action des vents, la couche inférieure de l' atmosphère tient en dissolution une plus grande quantité d' eau que les autres couches. Dans cet état de choses, les rayons de lumière qui viennent des parties basses du ciel, étant arrivés à la surface qui sépare la couche la moins dense de celles qui sont au-dessus, ne pénètrent pas dans cette couche; ils sont réfléchis, et vont peindre, dans l'oeil de l'observateur, l' image du ciel. Il croit alors une partie du ciel au-dessus de l'orizzon. C'est cette partie qu'il prend pour de l' eau, lorsque le phénomène a lieu à terre. Si on est à la mer, on croit voir dans le ciel tous les objets qui flottent sur la partie de la surface occupée par l'image du ciel ».

esaminando dei cristalli di spato calcare, che un amico gli aveva portato d'Islanda. L'Huygens, venti anni dopo, se ne accertava pure, constatandola anche nel quarzo, fissandone le leggi, e dandone la teoria nel sistema delle ondulazioni.

Il P. Grimaldi (1) verso il mezzo del secolo XVII scomponeva con il prisma la luce bianca, ed il Newton con molti esperimenti, illustrati nel suo immortale trattato di ottica, dimostrava la semplicità dei raggi elementari dello spettro, e *ricomponeva* la luce bianca.

Al Grimaldi la scienza deve pure la prima esperienza di *diffrazione* (2) ed all'altro quelle degli anelli colorati che ne portano il nome.

Nel 1678 (3) l'Huygens faceva la scoperta della polarizzazione, pubblicata però solo nel 1690 — e fino al 1809 non seguita da alcun altro studio su lo stesso argomento. —

Una *Macchina catottrica* del Kircher.

Riprod. della Fig. 4, Tav. XXIII a pag. 901, dell'*Ars Magna Lucis et Umbrae*, prima edizione, Roma, 1646. La macchina era destinata a far sì che « un uomo guardando nello specchio sembri avere volto di asino, di bue, di cervo, di anitra, o di simlli animali ».

Circa gli istrumenti di ottica, notato l'uso e l'abuso che si fece di specchi di ogni sorta — basta vedere le stranezze del Kircher, come la proposta di valersi di uno specchio cilindrico per rappresentare al vivo l'ascensione di Cristo al cielo; e quel che dice degli specchi sferici, cilindrici, convessi, parabolici, ed « altri ustorii » il Porta nel *Magia Naturalis* —; ricordato come nel secolo XVII si fosse manifestata una vera mania per fare specchi ustori di grandezza e potenza successivamente maggiori — il Magine, a quanto racconta il Priestley nella sua Storia, a pag. 228 e segg., ne aveva fatto uno del diametro di venti pollici, ossia circa cinquanta centimetri; il Settala di Milano ne costrusse del diametro di tre piedi e mezzo, ossia circa di un metro e cinque centimetri, « che bruciava alla distanza di quindici piedi »; il Villette di Lione uno di quarantaquattro pollici, ossia un metro e dieci centimetri, che venne acquistato dal Landgravio di Assia; il Tchirnhausen uno di quattro piedi e mezzo di Francia, oltre un metro e trentacinque centimetri, « di sottile lastra di rame e che bruciava

(1) *Physico Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, Bologna 1665, pag. 239. Ivi — Proposiz. XXXII — dice al N.° 2: « Si prova anzitutto. Mentre la luce passa per un prisma triangolare cristallino che sia stato incontrato da essa sotto certe incidenze, si rifrange, e subito dopo quel prisma, ovunque sia terminato, appare tinto di molteplice e vivissimo colore: e ciò si osserva più ancora chiaramente a grande distanza da quel prisma, e ancora più chiaramente di così, quando i raggi usciti dal cristallo siano ricevuti in luogo oscuro sopra oggetto opaco, segnatamente se candido ». Si è riportato cotesto brano del Grimaldi perchè ancora troppo frequentemente si vede attribuita al Newton la scomposizione della luce bianca, merito, invece, del Grimaldi.

(2) GRIMALDI, *op. cit.* Prop. I.ª « La luce si propaga non solo direttamente, rifrattamente e riflessamente, ma anche diffrattamente ».

(3) ARAGO, *Oeuvres complètes*, T. VII, p. 374.

qualunque sostanza » —; notato pure come — V. Jamin et Bouty, *Cours de Phys.* T. III, Fasc. 2 — sia del 1657 il primo studio del problema delle *anamorfosi* — fatto da Simone Stevin — e del 1714 — *Anamorphosis mechanica nova*, Lipsia — il primo istrumento per disegnarle — invenzione del Leupold —; notato cotesto, non entreremo certo nelle questioni della invenzione delle lenti o del cannocchiale.

Solo diremo come sembri a escludersi che le lenti fossero note agli antichi. (1) Tra gli altri, avrebbe dovuto parlarne Seneca là dove discorre dell'effetto d'ingrandimento che viene dato dalle boccie di vetro, se piene di acqua (2): forse gli antichi si valevano di queste come noi ci serviamo della lente biconvessa quale microscopio semplice; si ritenne anzi che delle stesse boccie piene appunto di acqua si giovassero coloro che incidevano gemme e pietre dure.

Nemmeno è a ritenersi che conoscessero telescopi. « Perchè, ad esempio, Democrito dice che la *Via Lattea* è una massa condensata di piccole stelle, e Seneca pensa che vi è un numero di pianeti maggiore di quel che fosse noto al suo tempo, fu ritenuto che nozioni tanto esatte non potessero conseguirsi senza il sussidio di telescopi. Ma basta accennare che cotesti risultati potevano ottenersi esclusivamente con speculazioni filosofiche da uomini del valore di Kant o di Schopenhauer per mostrare tutto il lato debole di cotesto argomento » (3).

Questo pare si possa ritenere certo, che Salvino d'Armato degli Armati, gentiluomo di Firenze, abbia inventato gli occhiali e che ciò sia stato verso la fine del secolo XIII (4). Certo poi si è che al risorgere degli studi di ottica, uomini eminenti si occuparono della teoria delle lenti: così il Keplero,

(1) Nella Introduzione, più volte citata, del Govi, egli scrive a proposito delle parti mancanti nell'*Ottica* del Tolomeo: « La mutilazione di questo quinto libro ci toglie, per ora almeno, ogni mezzo di conoscere con certezza se gli Antichi avessero o non avessero i vetri lenticolari, non bastando a provare che li avessero quello che Tolomeo ci dice dei mezzi terminati da una superficie piana o da una superficie cilindrica. Chè anzi il non parlarvisi di vasi sferici, nè di porzioni di sfera potrebbe quasi assicurarne del contrario. La supposta lente indicata da qualche scrittore come trovata a Ercolano, od a Pompei e serbata nel Museo di Portici (ora in quello di Napoli) non è, nè può essere mai stata una lente. È un pezzo di vetro irregolarmente piano convesso, contorto, bolloso, tale insomma che, anche supponendolo primitivamente più regolare, e non logorato dal tempo, non avrebbe mai potuto dare immagini utili degli oggetti veduti attraverso ad esso ».

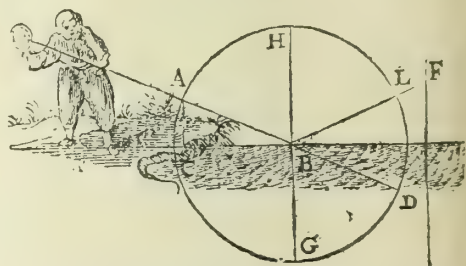
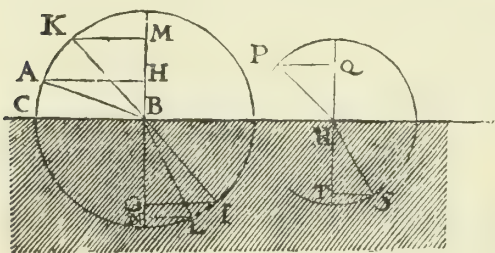
(2) *Natur. Quaest.*, *l. c.* Ecco il passo testualmente: « Aggiungo che ogni cosa sembra più grande a chi la guardi attraverso all'acqua. Le lettere, anche se minute ed oscure, si vedono più grandi e più chiare a traverso ad una boccia piena di acqua. I frutti appaiono più vistosi del vero se nuotano nell'acqua ».

(3) Doberck, *The Inventor of the Telescope*, in *The Observatory* Vol. II.

Il Doberck si fa qui l'eco di quanto scrissero tutti i trattatisti del periodo del rinnovamento scientifico. Ricorderemo solo il Francesco Fontana, che — *Novae coelestium, terrestriumque Rerum Observationes*, Napoli 1646, capitolo I, *De Tubi optici inventore* — esprime lo stesso avviso, dopo avere enumerato pretesi documenti che starebbero a provare l'avere l'antichità avuto dei telescopi. Tra cotesti pretesi argomenti è interessante quello che sarebbe risultato da un libro antichissimo « *in bibliotheca celeberrima Monasterii Scheurensis* » : in quel libro, « tra altri disegni è raffigurato pure un astronomo osservante le stelle, per *tubum opticum in Coelum intentus* ».

(4) Nella chiesa di Santa Maria Maggiore in Firenze esisteva una lapide mortuaria — perdutasi nei restauri — la quale portava l'iscrizione: ✝ **Qui giace Salvino d'Armato degli Armati di Firenze Inventore degli Occhiali. Dio gli perdoni le peccata. Anno D. MCCCXVII.** Se però è esatto quanto sembra doversi argomentare dagli scritti del Redi, l'Armati non avrebbe divulgato l'invenzione; ciò avrebbe fatto, a Pisa, Frate Alessandro Spina, Domenicano, forse di Firenze.

Circa l'epoca dell'invenzione, essa sarebbe da assegnarsi, come è detto sopra, alla fine del 1200. Nel proemio, infatti, di un manoscritto intitolato « Trattato di Governo della Famiglia, di Sandro di Pippozzo di Sandro Cittadino Fiorentino *fatto nel 1299* » è scritto: « mi trovo così gravoso d'anni che non avrei vallenza di leggere, e scrivere senza Vetri appellati Okiali, truovati *novellamente* per comodità delli poveri veki, quando affievolano del vedere ». V. Domenico Maria Manni, *Dell'Invenzione degli Occhiali da Naso* in *Raccolta di Opuscoli*, Venezia, Cristoforo Zane, 1730.

primo, con uno studio accurato della rifrazione, rese ragione dell'azione delle lenti nel far convergere e divergere i raggi, e considerò molti punti notevoli dell'ottica delle lenti; il Cavalieri ricercava i fuochi delle lenti inegualmente convesse, e dimostrava applicabile il metodo alle concave; l'Halley — *Phil. Trans.* T. XVII, p. 693, a. 1693 — mostrava « la eccellenza dell'algebra moderna nella risoluzione del problema del trovare in modo generale i fuochi dei vetri ottici ». — Inoltre della lavorazione di lenti e specchi si occuparono pressochè tutti i trattatisti di ottica degli ultimi secoli precedenti il XIX. Ne parlarono il Cartesio — *De modo expoliendi vitra*, al C. X del *Dioptrices* già citato — e G. B. Porta — *Speculum. Quomodo conflentur (sic)*, lib. IV, Cap. XIX, p. 155 — già nella prima edizione — 1589 — del *Magia Naturalis*: illustrava il Campani — *Ragguaglio di due nuove osservazioni*, ecc. Roma,

Schemi dimostr. della legge della *rifrazione* semplice e del fenom. della riflessione totale. — Opere di Cartesio. Riprod. della fig. superiore a pag. 60 e di quella a pag. 61. del *Dissertatio de Methodo, Dioptrices*. In *Op. Phil.* ediz. di Amsterdam, 1677, T. I.

17 maggio 1664 — quel tornio che aveva inventato per lavorare le lenti, e che — *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens, publ. par la Soc. Holl. d. Sc.*, La Haye, Nijhoff, T. V, pag. 145 — costituiva oggetto di meraviglia per l'Auzout e per l'Huygens; e sono meritevoli di menzione speciale i *Commentarii de formandis poliendisque vitris ad telescopia* dell'Huygens — pag. 205 e 226 dell'opera citata — ed il *Constructio lentium obiectivarum* di Eulero — Pietroburgo, 1762 —. Già nella seconda metà del secolo XVII era stata possibile — ad una vetreria di Sassonia — la costruzione di una lente — convessa da ambe le parti — del diametro di tre piedi — oltre novanta centimetri —; lente che — comperata dal Duca d'Orléans, fu da questi donata all'Accademia di Francia.

Sul cannocchiale è notorio come la invenzione ne sia attribuita a diversi. Potrebbe essere che realmente a parecchi ne fosse venuta l'idea. La storia della scienza registra più d'un fatto analogo (1); ed il Fontana — *Novae coel. terr.*, ecc.

(1) Per recarne un esempio — che è tanto più significativo perchè abbastanza recente, e si riferisce quindi ad epoca in cui la diffusione delle notizie scientifiche avveniva già con facilità e prontezza ben maggiori di quelle che fossero possibili all'epoca delle origini del cannocchiale — citeremo l'invenzione del barometro a bilancia del p. Secchi.

Parlando del meteorografo, egli — *Descrizione del meteorografo dell'Osservatorio del Collegio Romano del P. Angelo Secchi D. C. D. G., direttore del medesimo Osservatorio,* Roma, 1870 — scrive:

« L'origine di questo strumento risale al gennaio 1857, quando studiando io di fare un gran barometro campione per l'Osservatorio, ritrovai di nuovo il barometro a bilancia. *Dico ritrovai di nuovo: perchè allora questa invenzione era affatto dimenticata, e fu solo dopo i miei lavori, che cercando nella storia della scienza fu ritrovato essersi da altri costruito un barometro il quale sospeso ad una leva dava colle variazioni del peso la pressione atmosferica . . .* ».

già cit., p. 20 —, a proposito dell'opinione che attribuiva l'invenzione del *cannocchiale astronomico* foggiato nella sua forma originaria con due lenti biconvesse anche al Keplero, osserva come non sia a meravigliarsi che questi in Germania ed egli a Napoli avessero potuto essere autori di siffatta invenzione « poichè tutti siamo dotati di due talenti e precisamente dell' intelligenza e della facoltà di operare » (1).

Positivamente di una combinazione di lenti quale quella del *cannocchiale* detto *del Galileo* — con l'oculare divergente — è cenno esplicito nella edizione del 1589 del *Magia Naturalis* di G. B. Porta (2).

Del resto, ove si ascolti il Cartesio (3), l'inventore sarebbe stato Giacomo Metius di Alcmaar « uomo datosi alle umane arti, quantunque avesse avuto padre e fratello cultori della matematica; e di cui era sommo piacere foggiare specchi e vetri ustori, talvolta anche d'inverno, valendosi del ghiaccio, materia, come l'esperienza mostra, non completamente disadatta ad essi », ed il Borelli Pietro invece dimostra forse con più ragione che inventore il Metius non può essere stato, e lo sarebbe per contro Zaccaria Jansen — o Zaccaria di Giovanni, come è indicato nei documenti di Middelburgo nella Selandia (4). — E quel che si dice del Metius, si può ripetere e del Drebbel e del Gallilei.

Di quest'ultimo quel che sembra più probabile si è che, appresa una vaga

(1) Il Fontana in quel suo libro molto importante per la storia dell'ottica, dopo avere parlato del canocchiale da lui inventato con una lente piano concava ed una biconvessa, viene a dire — pag. 20 — del canocchiale a due lenti biconvesse. Citiamo testualmente cotesto brano importante:

« Di più nell'anno 1608 costrussi un altro tubo ottico, armato cioè con due lenti convesse: con cotesta invenzione, sebbene l'oggetto si veda al rovescio, tuttavia, a parità delle rimanenti condizioni, paragonandolo ad un telescopio ordinario, formato cioè con una lente concava e con una convessa, fa vedere l'oggetto in un campo più ampio, maggiormente vicino, più luminoso, e con maggiore nitidezza. È impossibile dire quanto meraviglioso esso sia per osservare le stelle. Quantunque cotesto modo di costruzioni sembri introdotto da Giovanni Keplero col problema 86, pag. 42 dell'opuscolo di Diottrica stampato nel 1611, tuttavia, per la pura verità, non ebbi notizie di quell'opuscolo prima di questo tempo — 1646 — in cui pubblico il presente trattato, e lo ebbi a prestito dal P. G. Battista Zupo ». Aggiunge poi che nel 1614 aveva dato il predetto tubo « armato » con le lenti accennate al detto P. Zupo ed al P. Gian Giacomo Staseri, non senza suscitare in essi grande ammirazione.

(2) Nel libro XVII, capit. 10 di quella edizione — posteriore di ben 31 anni alla prima, nella quale non è cenno di sorta relativo a combinazioni di lenti — si legge: « con la lente concava vedi le cose molto piccole, ma nitide; con quella convessa le cose vicine più grandi, ma intorbidate; ove tu sappia combinarle bene entrambe, vedrai chiare e più grandi sia le cose lontane che le vicine ». Da quanto poi il Fontana fa seguire alle parole testè riportate si deve argomentare che di codesto sistema era stato fatto uso da più d'uno.

(3) *Dioptrices*, ediz. cit., pag. 49.

(4) Il Borelli — *De vero telescopii inventore*, Hagen, Adriano Ulacq, 1655, p. 26 — attribuisce l'invenzione a Zacaria di Giovanni di Middelburg, che vi sarebbe giunto nel 1590, e non a caso, ma per via di tentativi e di studi. Egli — pag. 29 — tra le prove, adduce un verbale di interrogatori, datato il 3 marzo 1655 e firmato Simon van Beaumont. Il verbale, redatto in latino, comincia con le parole: « Noi, Consoli, Scabini e Consiglieri della corte di Middelburg, nella Selandia, abbiamo ordinato che fossero uditi ed esaminati Giovanni di Zacaria fabbricante di cannocchiali della nostra città e . . . Sara Gaedarda . . . ». Secondo esso il « Johannes Zacharides » figlio del « Zacharia Joannides (*sic*) » avrebbe dichiarato di avere spesso udito dire che il padre suo aveva fatto cannocchiali fino dal 1590. che il più lungo telescopio fatto in quel tempo non oltrepassava i 15 o 16 pollici, che nel 1618 egli ed il padre avevano trovato la maniera di costruirne di più lunghi; che nel 1620 un individuo di nome Metius era venuto a Middelburg, « aveva comperato tale telescopio, di cui sforzossi quanto potè di imitare la costruzione »; e finalmente che lo stesso aveva tentato Cornelio Drebbel — Drebellius, come vi è detto. — La Sara Gaedarda, poi, affermò che erano passati 42 o 44 anni — non poteva precisare meglio — dacchè si facevano in Middelburg cannocchiali lunghi; che per il primo li aveva costruiti il fratello suo « Zacaria Joannides » — già morto all'epoca dell'interrogatorio —; e che ciò deponeva di scienza sua, cioè non per averlo udito, ma perchè numerose volte aveva visto il fratello intento a quel lavoro.

notizia dell'invenzione fattasi in Olanda, si mettesse all'opera, e riuscisse subito a costruire il tipo di cannocchiale che ne porta il nome (1).

Sicure invece sono le origini tanto del cannocchiale terrestre inventato dal Borelli — *Phil. Trans.*, N. 140, p. 1005 — e che — stessa pubblicazione, N. 183, p. 169 — perchè costruito con quattro vetri raddrizzava gli oggetti, quanto del binocolo, divulgato dal padre Celestino da Orléans — Priestley, *op. cit.*, pag. 75 — ma inventato dal cappuccino Antonio de Rheita — l'autore del libro *Oculus Enoch et Eliae, sive Radius Sidereo mysticus planetarum veros motus solo excentrico tradens, nova et jucunda continens, Conditorem siderum eiusque per facta visibilia magnalia preadicans*, stampato ad Anversa nel 1645 meritevole di nota più che lo farebbe credere la stranezza del titolo, e nel quale sono foggiate ed adottate per la prima volta le parole *obbiettivo* ed *oculare* (2).

Macchina del De Parcieux, membro dell'*Ac. d. Sc*, per « *tailler les verres objectifs de lunette* ».

Rip. dalla Tav. a pag. 54 del *Mach. et Inv. appr. par l'Ac. R. d. S.*, T. VII, a. 1777. Questa macchina fu oggetto di un rapporto — 29 ag. 1736 — molto fav. di Cassini, de Marain e de la Chevaleraye.

Circa i primi oculari composti, su la cui paternità esisteva pure grande confusione, l'accurato studio del Jadanza (3) stabilisce molto au-

(1) Il Borelli — op. cit., pag. 14 e seg. — dopo avere riportato quel brano curioso « *ex Victorii Siri Mercurio Gallico* » in cui le scoperte del Galileo sono magnificate ed enumerate con uno stile come cotesto: « Ha fatto vergognare il Sole scoprendoli quelle macchie che per tanti secoli aveva nella sua luminosa caligine seppellite. . . ; s'accorse che la stella di Saturno era tricorporea . . . » riporta l'altro passo dello stesso autore, preso dal tomo 2° « *Mercurii sui historia* » nel quale del Galileo è detto che « trovandosi in Venetia, riseppe che in Olanda erano state ritrovate le lunete, col cui beneficio gli oggetti invisibili si rendevano indistanti all'occhio, benchè fossero in sito lontano; senza vedere la forma di questo instrumento, si mise a specularne la struttura, e come potesse essere formato, e finalmente gli sorti (*sic*) di rivenire il Telescopio, vulgarmente chimato (*sic*) il canocchiale di Galilei, onde meritò testimonianze di stima e d'aggradimento della munificenza del Senato ».

Come argomento, poi, per segnare un *limite superiore* all'epoca dell'invenzione del canocchiale detto di Galileo non è trascurabile il fatto che nel libro molto notevole *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride Tractatus* di Marco Antonio De Dominis, arcivescovo di Spalatro, a pag. 35 esiste lo schema di un sistema ottico formato da una lente piano-concava e da una piano convessa, e che l'autore nota come « entrambi i vetri, tanto quello lenticolare, come quello scavato, possono servire insieme alla vista ». Ora, cotesto libro, stampato a Venezia nel 1611 « *apud Thomam Baglionum* », fu notoriamente scritto molto tempo prima della pubblicazione.

(2) v. Jadanza, *Per la Storia del Cannocchiale*, Mem. della R. Acc. delle Sc. di Torino, a 1896, serie II, T. XLVI.

(3) Jadanza, *Mem. cit.* (pag. 277). Le concluzioni del Jadanza sono:

1.° Che i cannocchiali di Huygens, coi quali fece la scoperta dell'anello di Saturno e di un satellite di esso pianeta non avevano nulla di nuovo (teoricamente) rispetto ad altri che si costruivano in quel tempo.

2.° Che l'oculare composto di due lenti vicine non ha che fare con l'oculare che attualmente è conosciuto col nome di *oculare di Huygens*, il quale ultimo è certamente posteriore al 1670.

3.° Che l'Huygens non fu nè il primo nè il solo ad adoperare come oculari lenti accoppiate piano-convesse.

4.° Che fu Giuseppe Campani colui che osservò per il primo il fatto dell'acromatismo nell'oculare a tre lenti del cannocchiale terrestre, e dai cannocchiali del Campani l'Huygens ed altri appresero questo fatto.

5.° Che l'oculare *negativo* o a *fuoco interno*, che attualmente si adopera per aumentare il campo nei canocchiali terrestri e nei microscopi dev'essere chiamato col nome di oculare di Huygens.

torevolmente quale parte abbia avuto il nostro valentissimo costruttore Giuseppe Campani, e quale l'Huygens (1).

Della fine del secolo XVIII è — invenzione importantissima — l'*oculare positivo* del Ramsden (2) da lui inventato per correggere difetti gravi di campo e di nitidezza d'immagine che avevano ancora a quell'epoca i cannocchiali. Al Dollond di Londra venne comunemente — e viene tuttora da alcuni — attribuita la invenzione degli obbiettivi fornenti immagini non iridescenti — obbiettivi *acromatici* —; però venticinque anni prima che il Dollond — 1758 — prendesse la relativa patente, Chester Moor Hall (3) — divenuto, nel *Geschichte der Astronomie* del Wolf, un *Esquire* di More Hall di nome Chester — costruiva di tali obbiettivi, e pare che da operai di lui il Dollond ne apprendesse i principi costruttivi.

La Luna sec. Francesco Fontana.
Riprod. fotogr. della tav. a pag. 50 dell' op. del Fontana. *Novae coelest. terrestriumque rerum observ.*, Napoli, febbr. 1646. Esempl. esist. all'*Ambrosiana* di Milano.

Il Gregory (4) aveva inventato nel 1663 il telescopio a specchi, ed il Newton — *An Accompt of a New Catadioptrical Telescope*, in *Phil. Trans.*, a. 1672, N. 81 del 25 marzo, pag. 4004 (5) — aveva costruito un altro tipo rimasto pure celebre nella storia degli istrumenti ottici, che costituisce la prima invenzione per la quale si fece conoscere quel grande, ed alla quale pare fosse indotto nella occasione dei suoi studi sui colori (6).

6.° Che dev'essere chiamato col nome di *oculare di Campani* quel sistema di due lenti che serve a raddrizzare l'immagine data dall'obbiettivo in un cannocchiale terrestre, quando esso è un *sistema telescopico.*

Aggiunge il dotto Autore: « Quando, come per lo più è in pratica, in un cannocchiale terrestre vi è il sistema oculare formato da quattro lenti delle quali le prime due costituiscono un *sistema telescopico* e le altre un oculare di Huygens, quel sistema dev'essere chiamato oculare di Campani e di Huygens ».

(1) Su l'interesse che destava a quell'epoca quanto si riferiva al perfezionamento dei cannocchiali, è da ricordarsi il n.° del 6 nov. 1665, pag. 98, delle *Phil. Trans.* in cui è una esposizione che ha per titolo: *Of monsieur Hevelius' s Promise of imparting to the World his Invention of making Optick Glasses; of Zulichem* (l'Huygens) *to perform something of the like nature; as also of the Expectations, conceived of some Ingenious Persons in England to improve Telescopes.* In essa si narra che « l'eminente astronomo di Danzica » sig. Hevelius scriveva al suo corrispondente di Londra esponendogli una sua invenzione; che l'Hugens (*sic*) « in una lettera recente scritta ad un amico di Londra » chiedeva informazioni sui successi avuti da un costruttore inglese nel perfezionare buone lenti, ed infine si narra come il signor *Du Son* « questo eccellente meccanico » si occupava a perfezionare in Londra i telescopi.

(2) *A Description of a new Construction of Eye-glass for such Telescopes as may be applied to Mathematical Instruments Phil. Trans.*, a. 1783, Vol. LXXIII, parte I, pag. 94. La comunicazione della mem. del Ramsden venne fatta alla *R. Soc.* da Sir Gius. Bank il 19 dic. 1782

(3) Lynn, *The first Inventor of the Achromatic Telescope*, in *Knowledge*, 1 maggio 1889.

(4) J. Gregory, *Optica promota seu abdita radiorum reflectorum et refractorum mysteria geometrice enucleata*. Londra 1663. *V. Jamin*, *Cours de Phys.* T. III, fasc II, pag. 156 dell'ediz. del 1881.

(5) Veggansi anche nello stesso volume a p. 4009 l'estratto di una lettera del Newton del 19 marzo; a pag. 4032 l'altra del 26 stesso mese, ed a pag. 4034 un estratto di lettera del 30 s. m. in cui il Newton risponde ad alcune osservazioni mosse da « *an Ingenious French Philosopher* » al nuovo telescopio.

(6) « La descrizione del telescopio del Newton — *Oeuv. Compl. de Christiaan Huygens, publiées par la Soc. Hollandaise des Sciences,* T. III, p. 129, L'Aia, Nijhoff, 1897 — fu presentata all'Huygens per ordine speciale della *Royal Society*, dopo che l'istrumento era stato esaminato dal Re, da Lord Brouncker, Moray, Neile, Wren, e Hooke. Si desiderava con cotesto invio assicurare i diritti dell'Autore (Birch, *History*, Vol. III, p. 1). L'Huygens, che l'ebbe il 5 febbraio 1672, si affrettò a pubblicare questa invenzione, e ad appoggiarla col suo giudizio

Qualche mese dopo compariva il telescopio del Cassegrain, professore al Collegio di Chartres, sul quale istrumento pare si facesse molto chiasso, pretendendosi da alcuni che fosse superiore a quello del Newton; cosa che provocò una lettera — giugno 1672 — dell'Huygens al Gallois — pubblicata nel *Journ. des S.* del 13 dello stesso mese (1) — nella quale l'Huygens osserva come quell'istrumento « *a esté inventé il y a longtemps par M. Gregory* », e dimostra illusori i vantaggi che si attribuivano al nuovo istrumento — possibilità di ricevere maggiore luce che in quello del Newton, condizioni migliori per la riflessione e per l'occhio, difeso dalla luce grazie al fondo dell'istrumento —.

Meritevole invece di menzione è l'opera dell'Hadley, che, dopo avere costruiti telescopi newtoniani che incontravano la soddisfazione di uomini come il Bradley, si dava al tipo del Gregory, riuscendo nella costruzione di specchi metallici così buoni che anche con meno di 45 centimetri di distanza focale permettevano di leggere le *Philosophical Transactions* collocate a 500 piedi — oltre un chilometro e mezzo — e pare — secondo il Maclaurin — superassero perfino un rifrattore di 15 piedi — oltre quattro metri e mezzo — del Cassini. Però, tra cotesti telescopi catottrici anteriori al secolo XIX, il più celebre fu quello di William Herschel, di cui egli comunicava una descrizione particolareggiata alla *R. S.* nella seduta dell'11 giugno 1795, e che, essendo della lunghezza di 40 piedi — oltre 12 metri — oltre all'avere presentato difficoltà grandi perfino nel sostegno — divenuto tutt'altro che un accessorio, e di costo molto ragguardevole — non aveva potuto essere compiuto senza una grande pratica nelle operazioni meccaniche ed ottiche (2).

molto favorevole. La descrizione con la figura, ed una lettera dell'Huygens al Gallois, furono pubblicate nel *Journal des Savants* del 29 febbraio seguente. In Inghilterra l'invenzione non fu pubblicata se non più che un mese dopo. Brewster, nel suo « *Memoirs of the Life, Writings and Deiscoveries of sir Isaac Newton* » riferisce pure che la descrizione « scritta in latino, corretta dal Newton e firmata da Lord Brouncker e dagli altri soprannominati, fu spedita all'Huygens ».

Nel volume citato delle opere dell'Huygens è riportata a pag. 134 la lettera del grande olandese « *à l'auteur du Journ. des Savants* » nella quale egli analizza i grandi pregi del telescopio newtoniano, ed a pag. 128 è riprodotto lo schizzo che l'Huygens aveva avuto, e che è simile al disegno accompagnante la memoria originaria del Newton e che noi riproduciamo: la sola differenza sta nel piedestallo, che appare fatto a grosso globo portato da due montanti fissati su una base rotonda.

(1) Huygens, *Oeuvres Compl.* già cit., T. VII, p. 189.

(2) Dalla monografia originaria del grande astronomo — *Description of a Forty-feet Reflecting Telescope* in *Phil. Trans.*, 1795, parte II, pag. 347 a 409 con 19 grandi tavole — togliamo queste notizie interessanti sui passatempi ai quali egli amava darsi:

« Allorchè mi trovavo a Bath mi ero molto famigliarizzato con le teorie dell'ottica e della meccanica; non mancavo che dell'esperienza tanto indispensabile nella parte pratica di coteste scienze. Questa acquistai per gradi qui » — l'Herschel era allora a Windsor — « dove nelle ore di ozio, per mio divertimento, costruii parecchi telescopi newtoniani di 2, 5, 7, 10 e 20 piedi; altri del tipo del Gregory di 8, 12, 18 pollici, 2, 3, 5, 10 piedi di distanza focale... Fabbricai così non meno di 200 specchi di 7 piedi, 150 da 10 e intorno ad 80 da 20... Di mano in mano necessariamente si andarono aggiungendo i passatempi meccanici a quelli ottici; non sarebbe facile il dire il numero dei sopporti che ho inventato per cotesti telescopi ».

Malgrado la pratica, non mancarono all'Herschel delle disgrazie.

Ne racconta egli stesso una, dopo la quale interruppe momentaneamente quei suoi passatempi. « Nel 1781 » scrive « principiai pure a costruire un riflettore aereo di 30 piedi, e dopo avere inventato ed eseguito il basamento ad esso destinato, provvidi alla fusione dello specchio, che avevo modellato così che riuscisse del diametro di 36 pollici; ma siccome il metallo era un po' troppo crudo, nel raffreddarsi si screpolò: lo fusi una seconda volta, ma allora il forno che avevo a ciò costruito in mia casa si sfasciò, ed il metallo si sparse per il focolare ».

La costruzione del telescopio rimasto celebre fu da lui cominciata al principio del 1785, e l'Herschel lo considerò finito il 28 agosto 1789, quando, avendolo rivolto verso Saturno, ne scopriva il sesto satellite.

Nel 1675 — lettera del 28 giugno alla *Royal Society* — l'Hooke trovava il mezzo per osservare il sole senza ricorrere a vetri affumicati, facendo riflettere i raggi successivamente su due specchi piani: egli forse aveva così costruito — inconsciamente — il primo oculare polarizzante, 15 anni avanti che l'Huygens pubblicasse la scoperta della polarizzazione. Diremo ancora come — Priestley, *History*, ecc., p. 737 e seg. — Short di Londra immaginasse il *telescopio equatoriale* od *osservatorio portabile*, ed Epino pubblicasse a Pietroburgo — *Nova Comm. Ac. Petrop.*, T. IX, pag. 488 — la invenzione del cannocchiale spezzato ad angolo retto, con uno specchio piano al vertice.

Nel 1731 l'Hadley (1) inventava il sestante, di cui uno dei modelli presentati alla *Royal Society* non richiedeva appoggio, e perciò era atto ad osservazioni in mare. Un anno dopo John Elton (2) comunicava alla stessa Società la descrizione di un nuovo *quadrante*, accompagnandola con un estratto delle osservazioni di latitudine eseguite — nel 1730, da Walther Hoxton capitano dello *ship* «*Baltimore*» in un viaggio dal Tamigi la Connecticut — tanto col quadrante comune del Davis che con quello dell' Elton, dalle quali appare che la invenzione di costui non avrebbe mancato di utilità se nel frattempo non fosse sopravvenuta quella del sestante. Questo poi, realmente, molto prima che dall'Hadley, era stato inventato dal Newton: ma di cotesta invenzione si seppe solo nel 1742, quando fu comunicata alla *R. S.* — *Phil. Trans.* N. 465 dell'ottobre e novembre 1742 — una « *Copia* esatta di una memoria trovata, nei manoscritti di Sir Isacco Newton, tra le carte del defunto D. Halley, contenente la descrizione di un istrumento atto ad osservare in mare la distanza della luna dalle stelle fisse ».

Vari modi di osservare macchie e facole del sole. Prima metà del secolo XVII.
Ripr. della Tav. a pag. 151 del *Rosa Ursina* del P. Scheiner; Bracciano 1630.

Invenzione di importanza capitale nel campo dell'ottica di precisione fu quella del micrometro. Secondo il Priestley — *op. cit.* p. 223 — il primo

(1) *The description of a new Instrument for taking Angles. By John Hadley Esq., Vice Pres. R. S.* in *Phil. Trans.* N.° 420, ag. e sett. 1731, pag. 147. La nota era stata comunicata il 13 maggio dello stesso anno.

(2) *The Descr. of a new Quadrant for taking Altitudes without an Horizon, either at Sea or Land*, in *Phil. Trans.* maggio e giugno 1732, pag. 273.

che misurasse esattamente oggetti valendosi di un istrumento di ottica fu il Gascoigne, avanti le guerre civili d'Inghilterra (1). Egli scompartiva l'immagine dell'oggetto al fuoco dell' obbiettivo mediante due pezzi di metallo a lembo molto sottile. L'Hooke sostituì ad essi due capelli sottili, tesi l'uno presso l'altro. Nelle effemeridi del marchese di Malvasia, pubblicate nel 1662, è detto come questi misurasse piccole distanze tra le stelle fisse mediante un reticolo di sottili fili di argento; nel 1666 Auzout e Picard pubblicavano la descrizione di un micrometro pressapoco uguale a quello del marchese di Malvasia, ma più esatto perchè vi era introdotto l'uso della vite; ed il Cassini inventava un metodo di osservazione delle ascensioni rette e delle declinazioni delle stelle basato su l'uso di crocicchi di fili.

Il telescopio del Newton.
Ripr. della fig. 1. Tav. I della *Phil. Trans.*, a 1672, monogr. originale del Newton cit. nel testo — V. pag. 329.

Da quel Zaccaria di Giovanni che già ci occorse di nominare, secondo il Borelli (2), e verso il 1590, o da Giovanni padre di lui — sempre prima del 1600 — secondo il Doberck (3); certamente a Middelburg, da uno di quella famiglia, e sul finire del secolo XVI veniva inventato il microscopio, che rendeva poi benemeriti della scienza per i perfezionamenti portativi il Bonanni, Eustachio Divini, l'Adams, e che già nel secolo XVII poteva essere volto ad indagini importanti (4) di anatomia e di istiologia animale e vegetale.

Il P. Giovanni Mario della Torre, che professava fisica all'Università di Napoli, gli toglieva parecchi difetti: lo rendeva più semplice, più comodo, più esteso nelle applicazioni il cappuccino G. B. da S. Martino. Il primo, fino dal 1746, si occupava di costruire palline microscopiche di cristallo, arrivando

(1) Il Gascoigne, oltre all'invenzione accennata, aveva preparato anche un Trattato di ottica. Sventuratamente, mentre era ai servigi di Carlo I, fu ucciso; ed il manoscritto andò perduto, nè potè mai essere trovato. L' istrumento invece capitò nelle mani del Rev. Townley, il quale riferisce di avere potuto con esso segnare oltre 40.000 divisioni per piede. Misure sul diametro lunare con osservazioni curiose del Gascoigne si trovano a pag. 190 del T. 48 delle *Phil. Trans.* — PRIESTLEY, *op. cit.* —

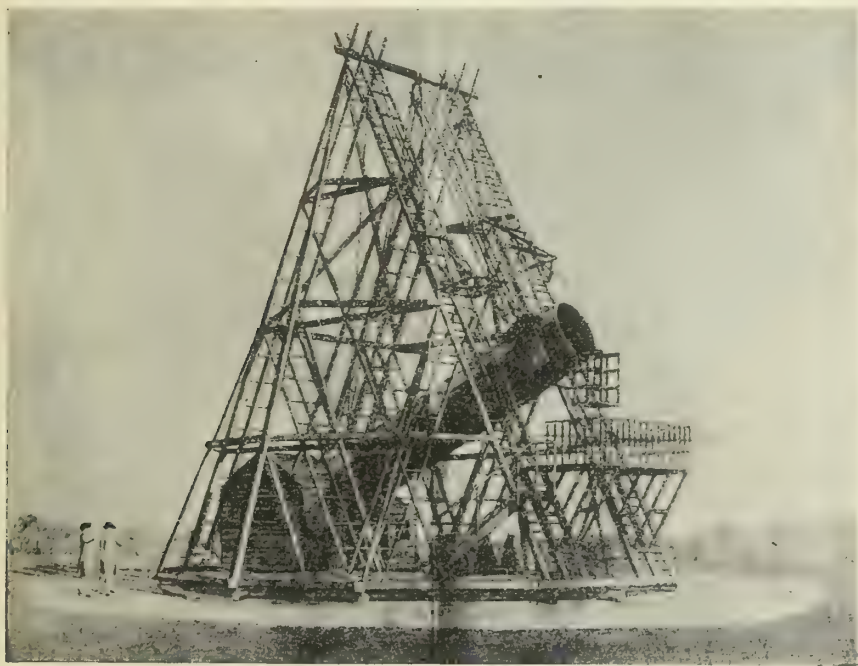
(2) BORELLI, *op. cit.*, pag. 25.

(3) DOBERCK, *mem. cit.*

(4) V. ad es. in BORELLI, — *Observationum microscopicarum centuria*, Hagen, Ulacq, 1656 — osservazioni sui vermi dell'aceto, su latte, sangue, pori e rughe della pelle, *rudimenti* della pianta nel seme, occhi del ragno, ecc.; in *Phil. Trans.* — N.° 139, a. 1687, p. 987 — osservazioni su varie malattie, l'umor cristallino, la struttura dei capelli, i globuli del sangue, i denti, ecc. Nello stesso anno pubblicava osservazioni microscopiche in Germania il Grindel, che era stato preceduto — 1671 — dall'Haim, e nel 1691 ne faceva conoscere il Bonanni. Dieci anni prima lo Scradero — Lupieri, *Del microscopio*, Vicenza, 1784 — aveva messo in luce un Trattato sopra l'uso del microscopio nell'anatomia; fino dal 1670 erano apparse nelle *Effemeridi dei Curiosi della Natura* — Lupieri, op. cit. — gli studi dell'Harris e del Sachs; e della stessa epoca sono i lavori cospicui di quell'uomo insigne che fu Marcello Malpighi.

I primi microscopi dovevano essere molto incomodi. Il Priestley riferisce come il Drebbel ne avesse in dono uno da Zaccaria Jansen che era lungo sei piedi — oltre un metro e ottanta centimetri — ed aveva solo un pollice di diametro.

ad ottenere ingrandimenti che — indubbiamente valutati in modo erroneo — reputava — *Nuove osservazioni microscopiche*, Napoli 1776 — di oltre 3800 diametri. In Napoli tentava la costruzione di piccolissime lenti il Guevara, e — 1775 — riusciva, sotto la direzione di lui il Mazzola a costruirne con la distanza focale di un centesimo di pollice. Poco prima — 1774 — Eulero aveva proposto per il microscopio l'acromatismo, come ventisette anni avanti lo aveva additato per il telescopio.

Così alla boccia di vetro piena d'acqua ch'era stato il microscopio di Aristofane, di Plinio, di Lattanzio; alla semplice lente biconvessa che aveva pure permesso al Lyonnet (1) « de faire l'anatomie complète de la chenille du saule, travail à jamais immortel, double fruit du génie et de la patience » si andava gradatamente sostituendo un istrumento, che era già alla fine del

Il grande telescopio di W. Herschel.
Ripr. della Tav. XXIV, p. 408 delle *Phil. Trans.* a. 1795, parte II, monog. orig. dell'Herschel citata nel testo — nota 2.ª pag. 330.

secolo XVIII pronto per diventare uno dei più meravigliosi che l'indagine dei misteri della natura abbia avuto mai a disposizione.

Nel 1738 o 1739 il Lieberkuhn inventava il *microscopio solare* ed il microscopio *per oggetti opachi*, che nel 1739, trovandosi egli a Londra, mostrava a parecchi membri della *R. S.* Tra gli ottici che li videro era il Cuff che portava poi notevoli perfezionamenti al microscopio solare come fecero pure l'Epino — Priestley, *op. cit.*, pag. 743 — e lo Zeiher — *N. Comm. Ac. Petrop.*, Vol. X, pag. 299. —

Dobbiamo ancora ricordare come G. B. Porta avesse descritto (2) nell'anno 1558 la formazione delle immagini nella *camera oscura*; come il Kircher

(1) Arthur Chevalier, *L'étudiant micrographe*, Parigi, 1882.

(2) *Magiae Naturalis, sive de Miraculis rerum naturalium, libri IIII, Jo. Baptista Porta Neapolitano auctore, Neapoli apud Matthiam Cancer. MDLVIII.* È un libro strano in cui il Porta a fatti e nozioni veramente scientifiche mescola delle cose le più frivole e stravaganti — parla, ad esempio della maniera di dare il roseo a

— poco meno che un secolo dopo — facesse conoscere (1) delle disposizioni — combinate con l'impiego di una camera oscura per rendere più brillanti gli effetti — intese ad ottenere la proiezione — mediante l'uso di lenti e valendosi dei raggi solari — di lettere e disegni dipinti su specchi piani, e posti all'esterno della camera; e nella edizione di Amsterdam — 1671 — della grande opera su la luce pubblicasse descrizioni e interessanti disegni di quella *lanterna magica*, che, se per lungo tempo non riuscì se non mezzo di trastullo, fu poi convertita nel secolo XIX, in apparecchi preziosi per la volgarizzazione della scienza; come già fino dalla edizione di Roma — pag. 812 — avesse esposto il metodo — da lui osservato in Germania — per applicare all'arte del disegno le immagini della camera oscura, che egli — pag. 833 — insegnava a raddrizzare, per comodità del disegnatore, mediante due lenti convesse; come — Priestley, p. 89 — Rheinold Moestlin e Gemma avessero prima — erano contemporanei di Ticone Brahe e di Keplero — ideato di osservare le eclissi mediante immagini ricevute su carta bianca in una camera oscura; come lo s'Gravesande (2) avesse costruito un eccellente *eliostata*, con cui era possibile fare esperimenti di ottica valendosi della luce solare e mantenendo ai raggi di questa — mercè la riflessione operata da uno specchio piano mosso da opportuno meccanismo di orologeria — una direzione costante, malgrado il mutare continuo della posizione del sole.

Il *sestante* dell'Hadley.
Ripr. dalla monog. orig. dell'Hadley. —V. Testo pag. 331, nota 1.ª

La fotometria pure aveva avuto cultori. Emersero il Musschenbroeck — *Introductio ad Philos. Nat.* in Priestley, p. 432 — con i molti esperimenti sul potere di diversi mezzi ad intercettare la luce; l'Eulero, lo Smith, il

volto e del come possano aversi belli i figli, del drago volante e della produzione delle pesche senza nocciolo osseo —: esso, immediatamente dopo la prima edizione fu tradotto, secondo riferisce il Priestley, in italiano, francese, spagnolo ed arabo. La descrizione della celebre invenzione si trova al Capo II del lib. IV, pag. 137 dell'edizione originaria.

Riproduciamo, traducendo da questa, l'importante passo, che ha per titolo: *Come tu possa vedere nelle tenebre, e coi suoi colori, quanto all'esterno è illuminato dal sole.*

« Se alcuno voglia vedere ciò, occorre che chiuda tutte le finestre e chiuda anche ogni spiraglio, onde non accada che qualche poco di luce, col penetrare, distrugga tutto. Farai solo un'apertura col trapano, ed abbia questa la forma di una piramide rotonda, di cui la base si volga al sole, il vertice alla camera; ed opporrai ad essa pareti bianche o coperte con tela o carta. Così vedrai ogni cosa che sia illuminata dal sole, e come antipodi coloro che camminassero nelle vie; ed alla sinistra quanto trovasi a destra, ed ogni cosa invertita, e quanto più disteranno dal foro, tanto maggiore sarà la loro grandezza, mentre se avvicinerai ad esso la carta o la tavola, essi appariranno più piccoli. Tuttavia ciò (si avrà) con l'aspettare per qualche tempo, giacchè le immagini non appariranno immediatamente ... Ora poi dirò quello che fin qui tacqui e ritenni doversi tacere, come vedere, ove lo si voglia, ogni cosa con i suoi colori . . . ».

(1) *De proiectione figurarum*, in *Ars Magna Lucis et Umbrae.* Roma, 1646.

(2) *Physices Elementa Mathematica experimentis demonstrata*, T. II, pag. 715 e Tav. 83 e 84 dell'edizione del 1748.

Kaestner (1), il Lambert: principalmente emerse il Bouguer, che col suo *Essai d'Optique sur la gradation de la Lumière* dava un trattato di altissimo pregio e metteva a disposizione della scienza vedute e metodi che lo avevano portato a risultati importanti e non facili, quali ad esempio la misura del potere riflettente nell'interno dei corpi, ed i confronti tra le intensità delle luci degli astri secondo la loro altezza su l'orizzonte, o tra le intensità luminose dei raggi solari e di quelli della luna; confronti, nei quali, per imperfezione di mezzi, nessuno prima di lui — nemmeno il sommo Huygens, che, come spiega nel *Cosmotheoros*, aveva misurato quante volte la luce del sole è più forte di quella di Sirio — era riuscito a risultati di qualche attendibilità.

Molto imperfetti ancora, alla fine del secolo XVIII, i fari (2), che solo nel 1784 avevano avuto qualche miglioramento dalla invenzione della lampada dell'Argand (3).

Il sestante del Newton.
Riprod. del disegno orig. in *Phil. Trans.* a 1742, N. 465.

(1) V. anche LAMBERT, *Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae.* Augusta, 1760.

(2) Sul modo come fossero considerati i fari fino l principio del secolo XIX scriveva l'Aldini — *Saggio di osservazione sui mezzi atti a migliorare la costruzione e l'illuminazione dei fari*, Milano 1823 —:

« Reca in verità meraviglia che come al presente, non sieno state in passato rivolte maggiori cure a sicurezza della navigazione, dando opera a ben costruire i fari ed a propagarli, quasi che bastassero o le lanterne dei vascelli o la notturna incerta luce degli astri. Di fatto se si considerino i più solenni atti di navigazione da un secolo addietro, si troverà che essi riguardano la navale costruzione, l'artiglieria marina, i regolamenti pei viaggi alle Indie orientali ed occidentali, le finanze ed il commercio del mare, la polizia dei forti, senza prendere particolare interessamento pei fari che assicurano l'entrata dei bastimenti e ne proteggono la dimora.

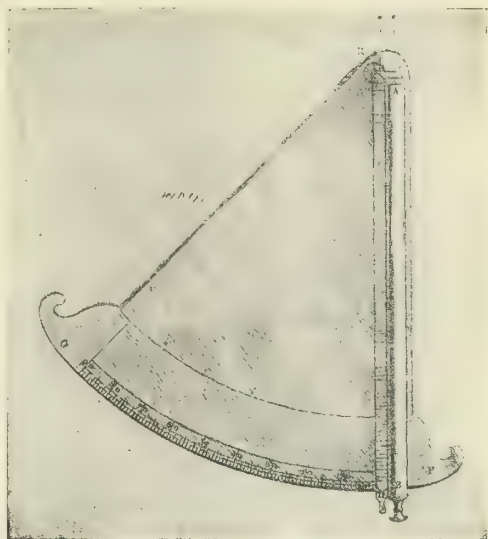
È però per me buona ventura che scrivo in un tempo in cui la storia della marina ricorda fra i suoi fasti i perfezionamenti dei fari della Gran Brettagna, e quelli anche ultimamente proposti in Francia al ministro della marina, e i fari collocati alle spiagge del Sund della Svezia e dalla Danimarca, e il nuovo genere d'illuminazione a gas introdotto per la prima volta nel grandioso fanale di Salvore . . . » Il lettore comprende che cotesti miglioramenti non appartengono al secolo XVIII.

(3) Vegg. la monografia postuma dell'Arago *Les Phares* in *Oeuvres Complètes*, T. VI, Parigi, 1856. Ne togliamo alcuni brani che dànno molto chiaramente l'idea dello stato dei fari durante tutto il periodo precedente le celebri innovazioni del secolo XIX:

« Les renseignements » — scrive l'Arago — « qui nous sont parvenus sur les nombreux établissements de ce genre qui existaient chez les Grecs et chez les Romains, sont uniquement relatifs à la hauteur, à la forme et à la solidité des édifices, qui, les plus souvent, étaient construits en pierres blanches, afin qu' ils pussent servir de signal le jour. À Pouzzoles, à Ravenne, par exemple, les monuments étaient magnifiques, mais ils pêchaient par l'appareil optique. Tout ce que l'on savait faire, c'était d'allumer au sommet de chaque tour des feux qui ne jouissaient pas d'une intensité constante, et qui souvent même s'éteignaient par la négligence des gardiens . . .

C'est dans la vue de diversifier les feux qu' on recommandait, par exemple, d'allumer du charbon de terre dans un phare, d'alimenter le feu du phare voisin avec du charbon de bois, et de n' employer que du bois sec dans le signal, qui suivait ces deux-là; mais ce moyen est très-imparfait. . .

Les phares ne sont sortis de l'état d'imperfection que je viens de décrire, qu' après 1784, après l'invention, faite par Argand, de la lampe à double courant d'air. A cette époque, Borda, qui a laissé dans la marine française une trace si glorieuse, imagina, non seulement de substituer les lampes d'Argand aux chandelles, mais encore de les placer au foyer de réflecteurs paraboliques; par là on remplaçait par une lumière constante les feux ternes, vacillants et dispendieux du bois et du charbon ; par là on rendait parallèles des rayons qui, autrement, auraient été divergents; par là on transformait en un véritable cylindre de lumière, des rayons qui n'auraient porté à l'horizon qu' une lumière insensible et inutile. —

Ces innovations trouvèrent cependant, à l'origine, beaucoup de contradicteurs, et il faut convenir que

Su la fosforescenza e fluorescenza, degne di nota le osservazioni del Cellini su la fosforescenza di gemme (1); capitali quelle del bolognese Vincenzo Cascariolo che nel 1630 (?) — Priestley, p. 361, *op. cit.* — scopriva la proprietà della « pietra di Bologna » — solfuro di calcio — di « imbeversi di luce » e di emetterne dopo nell'oscurità; del Boyle — 1663 — sul diamante riscaldato per isfregamento o sottoposto a pressione; del Canton, che riscontrava la proprietà del *fosforo di Bologna* nel solfuro di bario — chiamato, poi, appunto *fosforo di Canton*; del Du Fay — 1735 — che la constatava in altre sostanze; del Pallas — Arago, in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1820, T. XIV, p. 298; appunti ad un articolo del Brewster — su lo spato fluore di Jecaterinburg da lui illustrato nelle *Memorie* — a. 1783 — dell'Accademia di Pietroburgo; del Wegdwood — *Phil. Trans.*, a. 1792 — su parecchi minerali. Fino dai tempi del Kircher, poi, copiose le osservazioni su i vegetali ed animali fosforescenti; e meritevoli di nota gli studi del Boyle sui fenomeni di fluorescenza del *lignum nephriticum* (2).

Microscopio del principio del secolo XVII.
Ripr. della fig. a pag. 835 del Kircher, *Ars Magna Lucis et Umbrae*, prima ediz., 1646.

ce ne fut sans motifs: les premiers réflecteurs etaient sphériques et portaient à leur foyer des mèches plates, fort ternes...

La lumière déjà peu intense que le réflecteur renvoyait dans la direction de son axe, devenait extrêmement faible aussitôt qu' on s'éloignait de cette ligne; en sorte qu'en supposant, ce dont il est cependant permis de douter, que l' intensité de la lumière, dans cet appareil, surpassât celle des feux ordinaires de bois ou de charbon, ce ne pouvait être que dans des point fort rapprochés de l'axe du réverbère, tandis que partout ailleurs les feux devaient avoir un avantage marqué sur le réflecteur. Les phares à réflecteur parabolique n' avaient pas les même inconvenients...

L'invention des miroirs paraboliques, il faut le reconnaître, n' est pas néanmoins sans inconvénients; le cylindre de lumière réfléchie n'a plus que la largeur du miroir; la zone que il éclaire a précisément les mêmes dimensions, et, à moins qu' on ne multiplie les miroirs outre mesure, il existe une foule de directions dans lesquelles le navigateur n'aperçoit rien. Borda vainquit cette difficulté en donnant à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie, un mouvement de rotation à l'ensemble des réflecteurs. Le cylindre de lumière se trouve ainsi successivement dirigé vers tous les points de l'horizon; et en adoptant des mouvements de rotation d'inégale durée on a le moyen d'individualiser chaque phare, et d'empêcher que le navigateur ne prenne un phare pour un autre. La lumière des phares ne peut plus jamais être confondue avec les feux accidentels de la côte, ou même avec des feux malicieusement allumés, pour occasioner des naufrages ».

(1) CELLINI. *Due trattati dell'oreficeria*, Tratt. I. — A pag. 3 — riferendoci dell'ediz. di Milano del 1811, Soc. Tip. dei Classici Italiani — Vol. III delle Opere, parlandosi del « rubino del Mezzogiorno » è scritto: « Avvegnachè egli non sia coperto di così bel colore è però un color tanto acceso e vivace che di giorno si vede continovamente brillare, e di notte rende quella luce, che fanno le lucciole, o alcuni piccoli vermi, che risplendono nelle tenebre ». A pag. 29 sul *carbonchio*, riguardo ad un esemplare visto dal Cellini nelle mani di un certo « mercante Ragugeo detto Biagio di Bona » al tempo di Clemente VII: « riteneva in sè un fulgente tanto piacevole e mirabile che egli risplendeva nelle tenebre, ma non quanto i carbonchi colorati, ben è vero; che in luogo oscurissimo io li vidi rilucere in guisa d'un fuoco alquanto smorto ». Si è in seguito a questo passo che il Cellini racconta la notissima storia — da lui udita — occorsa a certo Jacopo Cola che « in tempo di notte essendo in una sua vigna, vide nel mezzo di essa risplendere in guisa di un piccolo carboncino di fuoco a piedi di una vite, perchè andato vicino, dove gli pareva di avere veduto quel fuoco, nè ritrovandolo, diceva, che ritornato nel medesimo luogo donde l'aveva di prima veduto, e ritrovato il medesimo splendore, cotanto l'osservò, che egli si condusse a piè di esso, dove raccolse una piccola pietruzza ». Era pure quella un carbonchio.

(2) Cotesto legno, che originariamente un procuratore dei gesuiti aveva portato dal Messico al suo correligionario p. Kircher — *coatl* o *tlapazatli* nel linguaggio degli indigeni, che se ne valevano nella cura appunto della nefrite — fu studiato subito dal Kircher che aveva riconosciuto, nell'infuso acquoso di esso, fatti di colo-

Argomento che occupò tutti gli scrittori fino da Aristotele (1), ma intorno al quale nozioni precise non si ebbero che col Newton, si è quello dei colori (2). Col Newton, però, la teoria dei colori rimase stabilita con sicurezza nei fatti essenziali; onde — perchè la verità in cotesto ordine di questioni fosse conosciuta — la filosofia naturale, dopo il Newton, non ebbe che risolvere in favore della teoria delle ondulazioni la questione della natura della luce.

Molto avanzati, già prima del secolo XIX, gli studi su le meteore luminose (3) e su la visione. Così, delle prime, grazie specialmente al Maurolico, al Fletcher di Breslavia, al De-Dominis, al Cartesio (4)

Microscopio della fine del secolo XVIII.

Da una incisione del 1790.

razione diversa secondo che veniva esposto a luce più o meno viva e portato in oscurità più o meno intensa. Il Boyle precisò meglio i fenomeni, distinguendo anche tra l'azione della luce trasmessa attraverso la soluzione e quella della luce riflessa da essa.

(1) Aristotele scrisse intorno ai colori un vero trattato, il Περὶ χρωμάτων (*Dei colori*) — Vol. III della ediz. Didot, pag. 642 a 654.

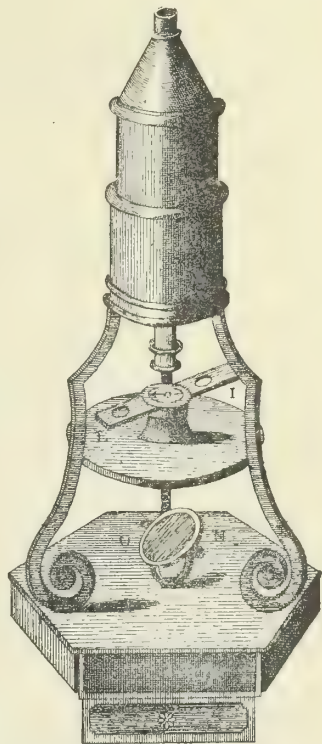
(2) Il Descartes, pur comprendendo che il colore era qualcosa di legato alla natura della luce, lo riteneva una modificazione di essa dipendente da prevalenza del moto rotatorio o del diretto nelle particelle che la costituivano. Il Grimaldi, il Dechales ed altri, che dipendesse da condensazione o rarefazione della luce. Il Malebranche si avvicinava al vero nella concezione di vibrazioni più o meno vivaci di un mezzo elastico riempiente l'universo intero, — *vibrations plus on moins promptes de la matière subtile,* com'egli dice nel XVI *Éclaircissement*, pag. 441, T. IV del *De la Recherche de la Vérité*, ediz. di Parigi del 1721 — mentre l'Hooke riteneva il colore cagionato dalla sensazione prodotta dall'essere diretta piuttosto che obliqua la pulsazione luminosa, onde era tratto a non ammettere se non che due colori primari. Il Newton invece nella sua Ottica stabiliva che siccome i vari raggi differiscono nella rifrangibilità, devono differire anche nell'attitudine a presentare un colore piuttosto che un altro; che lo stesso grado di rifrangibilità deve corrispondere al medesimo colore e reciprocamente; che il grado di rifrangibilità, e quindi il colore, non può mutarsi per riflessione o per rifrazione; che mutazioni di colori possono aversi da miscele di diverse specie di raggi, ma in ogni miscela non possono apparire i colori componenti, e solo può aversi una tinta intermedia; che vi sono pertanto due specie di colori, i semplici ed i composti; che con miscela opportuna può prodursi un colore uguale ad uno semplice; che tra tutte le miscele la più meravigliosa è quella che dà il bianco, e con cotesti ed altri principî spiegava molti fenomeni, tra cui l'arcobaleno ed i colori delle lamine sottili.

Tra coloro che si occuparono dei fatti merita anche una menzione tutta speciale il Boyle per i suoi *Experiments and Observations upon Colours* pubblicati nel 1663. Egli per il primo osservò la differenza di colore degli oggetti alla luce del giorno ed a quella lunare, il cangiamento di colore dell'oro veduto per trasparenza, i colori delle lamine sottili, studiò quelli della bolla di acqua saponata, intrattenendone la *R. Soc.*, alla quale aveva promesso — seduta del 7 marzo 1672 — di presentare « qualche cosa che non era nè riflesso nè rifratto ».

(3) Anche di queste si erano occupati già i filosofi antichi. Aristotele ha perfino un trattato speciale abbastanza ampio, il Περὶ μετεωρολογικῶν, o *Delle cose meteorologiche* — Vol. III, pagine 552 a 626 dell'edizione Didot — in cui parla dell'arcobaleno, delle corone, dei parelii, dimostrando — capo IV — che l'arcobaleno è fenomeno di riflessione — il che, se non è tutta la verità, è però parte sostanziale di essa — e che — capo V — esso non può essere nè un circolo, nè maggiore di un semicircolo.

(4) Il Maurolico misurò, primo, i diametri angolari dei due archi baleni concentrici, assegnando loro rispettivamente 45° e 56°; Fletcher di Breslavia, in un trattato pubblicato nel 1571 — Montucla, *Hist. des Mathématiques*, Parigi, 1758, T. I, p. 630 — rendeva ragione dei colori dell'arcobaleno con una duplice rifrazione ed una riflessione; e il De-Dominis — nel *De radiis visus* già citato, stampato nel 1611, ma scritto almeno vent'anni prima — provava che le condizioni del Fletcher bastavano a produrre i colori ed a portare i raggi all'occhio senza bisogno di riflessioni ulteriori; il Descartes dava una spiegazione soddisfacente anche dell'arco di secondo ordine — al che non era riuscito il De-Dominis — invocando una duplice rifrazione ed una duplice riflessione; e, sebbene riuscisse difettoso riguardo ai colori, considerava però la gocciolina di acqua nella sua azione vera, ideando anche — *Meteora*, Capo VIII, *De Iride* — l'esperienza della boccia d'acqua posta in una camera oscura, su cui si fa arrivare un raggio di luce, e mediante la quale è possibile — come con una sfera di cristallo — realizzare sperimentalmente l'arco.

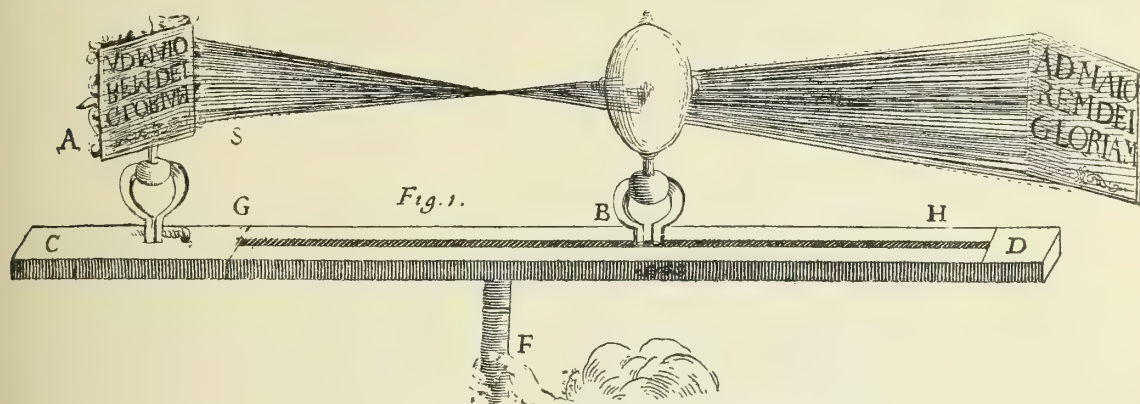
Vuole poi essere notato come, indipendentemente dai tentativi, riusciti o no, di spiegazioni delle meteore luminose, nei secoli antecedenti il XIX sia stato raccolta una messe copiosa di fatti, alcuni veramente inte-

ed al Newton, l'arco baleno era spiegato — con quella teoria elementare, che, se non basta a rendere conto di tutti i particolari degli archi prodotti artificialmente, è però sufficiente a dare ragione completa dell'arco principale e del secondario; — dell'altra, mercè il Maurolico ed il Porta, il Keplero ed il Descartes, lo Scheiner ed il Mariotte (1), erano e ben determinato il meccanismo e dilucidati vari punti importanti riguardanti l'accomodazione, il giudizio della distanza, la posizione degli oggetti. Si aveva anche un *ottometro*.

L'ultima parola destiniamo ai mezzi ed apparecchi d'illuminazione. Alla

ressanti, cominciando dai due parelii di cui parla Aristotile nel Μετεωρολογικῶν — pag. 600 dell' ed. citata — osservati sul Bosforo « che, sorti col sole, durarono per tutto il giorno fino al tramonto », e venendo fino a quelli del secolo XVIII, come l' arco baleno triplo osservato — Priestley, *op. cit.*, p. 595 — dal Celsius nel 1743 nella Dalecarlia.

Tra coloro che contribuirono alla spiegazione delle meteore luminose va contato poi il Mariotte per quanto riguarda gli aloni.

(1) Il Maurolico nel *De lumine et umbra*, pubblicato nel 1575 — Montucla, *op. cit.*, T. I, pag. 626 — considerò l'ufficio del cristallino facendolo consistere nel riunire su la retina i raggi emanati dagli oggetti: con ciò spiegava la presbiopia e la miopia, e come la prima si correggesse coi vetri convessi, l'altra coi concavi. Di più andò molto vicino alla scoperta delle immagini che si formano su la retina, e non si capisce come essa gli sia sfuggita; pare che fosse arrestato, nella scoperta di questo punto essenziale, dalla difficoltà proveniente dall'essere l'immagine invertita. Il Porta dagli esperimenti della camera oscura argomentava che la visione avviene per intromissione di qualche cosa nell'occhio, non per emanazione dei raggi, ed osservava che la pupilla si contrae — *De Refractione*, p. 74 — se esposta a luce eccessiva. Cotesta scoperta, secondo il Priestley — *op. cit.*, p. 40 — potrebbe essere stata fatta anche da altri; egli cita Fabrizio di Acquapendente — professore a Padova, e successore del grande Fallopio — il quale, osservando sul gatto, avrebbe rilevato che la pupilla di uno degli occhi non solo si dilatava, o contraeva, se l' altro veniva chiuso, od aperto, ma anche quando entrambi erano aperti, ed avrebbe comunicata la scoperta ad amici, tra cui fra Paolo Sarpi, il quale avrebbe trovato la cosa vera non solo per il gatto, ma anche per altri animali, e per l'uomo. Keplero scopriva la formazione delle immagini su la retina, luogo delle immagini, o fuochi coniugati, dei punti dell' oggetto esterno; si occupava della inversione dell'immagine; spiegava chiaramente quanto riguarda la visione più o meno distinta, mostrando come si corregga con lenti concave o convesse quella imperfetta; assegnava ai processi ciliari un ufficio — variazione della distanza del cristallino — nella accomodazione alla varia lontananza degli oggetti; contrariamente all' osservazione di Ticone — che aveva creduto ad una diminuzione reale del disco lunare durante le eclissi di sole, operata dai raggi solari — riteneva che cotesta diminuzione dipendesse da causa inerente all'occhio; dava insomma nei *Paralipomena ad Vitellionem* un libro degno veramente del suo grande nome. Il Descartes assegnava ai processi ciliari, appunto nell'accomodazione l'ufficio di far variare la curvatura del cristallino che considerava come un muscolo di cui i processi ciliari sarebbero i tendini: a lui è dovuta l'osservazione che gli oggetti bianchi e luminosi appaiono più grandi degli altri a parità di dimensioni; ed a lui pure è da attribuirsi il merito di molte osservazioni giuste — *Dioptrices*, cap. VI — sul giudizio della grandezza apparente, posizione e distanza degli oggetti, alla quale ultima serve la *amborum oculorum conspiratio* — § 13, pag. 87 dell'ed. di Amsterdam del 1677 — dipendentemente dalla direzione dei due assi ottici, e come avverrebbe per un cieco che si valesse di due bastoni incrociantisi. Importanti quant'altri mai gli studi dello Scheiner, le cui opere *Oculus o fundamentum opticum* — Innsbruck, 1619 — e *Rosa Ursina* — Bracciano, 1630 — portano ovunque la traccia della importanza che egli assegnava alla esperienza e per la quale scriveva — nell'*Oculus* — che « una sola vera esperienza vale più che mille sottigliezze fallaci di subdole ragioni ». Egli si occupò dei poteri rinfrangenti dell'umore acqueo, del vitreo, del cristallino; tracciò accuratamente l'andamento dei raggi luminosi attraverso a tutti gli umori dell'occhio, e, discussa ogni possibile ipotesi, concluse conformemente all'Alhazen, al Vitellione ed al Keplero che la sede propria della visione — *Oculus*, p. 193 — è la retina; dimostrò che i raggi provenienti dagli oggetti e passanti attraverso ad un forellino praticato in un foglio di carta od in una tavoletta sottile s'incrociano prima di raggiungere l'occhio; fornì un mezzo semplice per misurare la distanza della visione distinta — *Oculus*, lib. I, parte II, cap. V, pag. 37; — mezzo consistente nel fare, con una punta di spillo, due forellini, in un cartoncino, lontani tra loro meno del diametro della pupilla, osservare attraverso a questi un punto situato al di là del cartoncino, e vedere, variando la distanza del punto, quale sia quella alla quale le due immagini si confondono in una: asportando i rivestimenti della parte posteriore dell'occhio di una pecora e di un bue — poi dell'uomo — e presentando davanti ad esso diversi oggetti dimostrò l'imagine distinta e dipinta coi suoi colori su la retina nuda; studiò sperimentalmente la dilatazione e contrazione della pupilla; fece uno studio esauriente degli occhiali, considerando il sistema ottico formato dalla lente e dall'occhio e paragonandolo sperimentalmente ad un sistema ottico analogo a ciascun singolo caso e formato con lenti. Finalmente, il Mariotte scopriva la esistenza di un punto insensibile della retina — il *punctum coecum* —; e il Portefield — Priestley, *op. cit.*, p. 646 — esponeva in un libro — « *On the Eye* » — i risultati di molti esperimenti su l'occhio, ed immaginava un istrumento che « per l'uso nella misura dei limiti della visione distinta e nella determinazione esatta della robustezza o debolezza della vista può — dice il Priestley — chiamarsi *ottometro* ».

fine del secolo XVIII essi erano rappresentati dalle torcie, dalle candele di cera e di sego, e dalle lampade ad olio, tra le quali eccellevano quella del ginevrino Ami Argand — 1782 — e l'altra del Quinquet — 1785 — che ne era un plagio (1); lampade certo molto imperfette ancora, ma che rappresentavano

Il primo apparecchio da proiezioni. Invenz. del P. Kircher.
Ripr. della fig. 1, Tav. XXXIV, p. 912 dell'*Ars Magna Luc. et. Umbr.*, ediz. del 1646.

pur sempre un enorme progresso rispetto alla lampada romana — tuttora viva nelle nostre campagne —.

Alcune città avevano anche un servizio d'illuminazione pubblica: a Parigi (2) nel 1770 — quando le vecchie lanterne venivano sostituite con quelle a

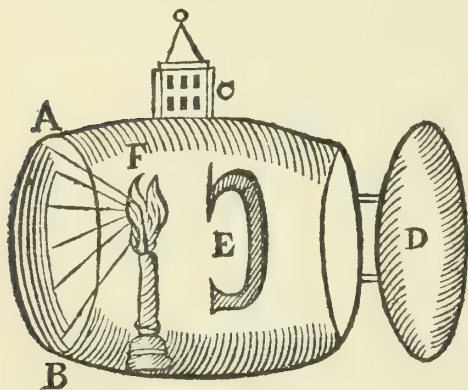
(1) Il primo tentativo di migliorare la lampada ad olio è costituito dalla lampada di Cassiodoro, prototipo di quella del Cardano. Questa — secolo XVI — studiata in modo che potesse funzionare per un anno intero — *De rerum varietate*, 1556, p. 490, *Lucernae compositionis demonstratio* — ebbe forma reale in una colonnina di vetro o rame — girevole intorno ad un perno orizzontale per favorire l'efflusso dell'olio — tappata per tutto, tranne che in basso, ove aveva un forellino in mezzo ad un piccolo recipiente nel quale stava il lucignolo; la colonnina era piena d'olio, e questo non poteva uscire se non quando il forellino era libero: richiedeva molte cure, la cui dimenticanza, secondo l'espressione del *L' Ésprit des journaux* — 1780 — era « à jamais punie par des macules inefaçables sur les livres et les papiers ». Nel *Theatrum instrumentorum et machinarum* del Besson — Lione, 1578 — è descritto ed illustrato — Tav. XVIII — un recipiente con molla spirale che, premendo il liquido gradatamente, lo faceva salire: il D'Allemagne vi vede — forse senza piena ragione — l'origine della lampada *à moderateur*, la cui invenzione, attribuita al Franchot, appartiene al secolo XIX. L'Argand — senza che lo sapesse — aveva avuto un precursore nello Stramius, inventore — 1750 — di una lampada a doppia corrente di aria avente lo scopo di bruciare meglio l'olio. Si è appunto nel secolo XVIII che vennero fatti molti studi per migliorare le lampade, e tra i nomi che si devono ricordare figurano quello del Rabiqueau — il bizzarro ideatore e costruttore della *voiture encyclopédique* — che inventava nella seconda metà del secolo la *lampada ottica;* del Perigney — 1748 e 1755 — e del Messier — 1760 — per i candelieri ad olio; del Perrier — 1763 — pure per un candeliere ad olio, che verso la fine del secolo si trovava in tutti i magazzini in voga. Si ebbero in quel secolo le lampade *fisse* — con grande serbatoio che si poneva sotto il tavolo —; le *ottiche*, dotate di grande potere illuminante; le *idrostatiche* — la prima di Filippo de Gérard 1787, nelle quali l'acqua, su cui galleggiava l'olio, spingeva questo all'insù —; le *astrali* ad *a corona* — nella quale, per ovviare all'inconveniente dell'ombra del serbatoio laterale, l'olio veniva posto in uno circolare che serviva di sostegno all' *abat-jour*; le *docimastiche*, da cui ripetono forse l'origine le moderne lampade da saldatore, e che venivano destinate a riscaldamento delle vivande; le lanterne *a riverbero* — che Bourgeois de Châteaublanc presentava nel 1765 all'*Ac. des Sc.*, ed incontravano quel favore che l'Accademia stessa negava ad un lavoro, reputato troppo scientifico, del Lavoisier —. Quale poi — con tante invenzioni — fosse lo stato delle lampade alla fine del secolo XVIII dice chiaramente il D'Allemagne nel suo splendido volume *Histoire du Luminaire* — dal quale sono prese parecchie di queste notizie —. « Certes les chandeliers à huile », scrive — pag. 490 — l'eruditissimo e geniale autore « les lampes optiques, hydrostatiques, à pompe, etc. n'étaient pas sans présenter de bien grands inconvenients: ils fumaient, et l'on peut dire qu'ils perdaient autant d'huile qu'ils en consumaient; mais c'est grâce aux perfectionnements successifs de ces modestes appareils que nous sommes parvenus aujourd'hui à nous éclairer d'une manière qui ne laisse plus rien à désirer ». Coteste parole, è bene notarlo, furono scritte quando ancora non aveva diffusione, se non relativamente molto limitata, l'illuminazione elettrica.

(2) Parigi è la prima città in cui — fu per ragioni imperiose di sicurezza — si ebbe l'idea di illuminare le vie durante la notte — decisione del Parlamento, del 17 giugno 1524 —: tentativi realmente pratici non si eb-

riverbero — essa era tale che, secondo la frase del Lemaire nel rapporto del de Sartine all'ambasciatore di Vienna, avrebbe fatto « horreur même à des garçons d'écurie »; però nel 1775 si era illuminata tutta la via tra Parigi e Versailles — cinque leghe e mezza — visto che Maria Antonietta ed il Conte d'Artois erano sempre di notte su quella strada: Londra, che al principio del secolo XVIII stava molto peggio di Parigi, la superava alla fine (1); a Roma si era cominciato il servizio nel 1734; a Copenhagen le vie erano molto bene illuminate già nel 1702; ed in Isvezia si era cominciato nel 1750.

II.

Le misure su la velocità di propagazione della luce. La spettroscopia.

Una locomotiva, che avesse la velocità di cento chilometri all'ora e non si arrestasse — o rallentasse — mai, non arriverebbe a coprire in quattro mesi lo spazio che, nell'aria, la luce percorre in un minuto secondo. Misurare su le piccole distanze terrestri, anzi perfino, secondo la frase del Fizeau, « dans les

La *lucerna artificiosa* del Kircher.

Ripr. della fig. a pag. 887 dell'ediz. orig. — 1646, — dell'*Ars Magna Luc. et. Um.*

Legg. espl. — Doveva servire a permettere di leggere scritti a grande distanza, proiettando luce intensa su di essi.

bero però che nel 1626. Nel 1662 un abate Laudati della famiglia dei Caraffa con decreto del 14 ottobre era autorizzato a stabilire « des porte-flambaux et porte-lanternes à loüage dans la ville et faux bourgs de Paris et toute autre ville du Royaume » ; ed il merito dell'idea era, naturalmente, attribuito al Re con l'argomentazione curiosa nel decreto di regolamento, che « comme Sa Majesté prend plaisir à donner diverses commodités à ses sujets, et surtout aux habitants de sa bonne ville de Paris, cela donne occasion aux esprits d'en rechercher tous les jours de nouvelles, comme entre autres les porte-flambeaux et porte-lanternes à loüage pour conduire et éclairer de nuit ceux qui voudront s'en servir pour aller et venir par tout où bon leur semblera ». Nel settembre 1667 De la Reynie, luogotenente di polizia, stabiliva per la prima volta il vero servizio regolare di illuminazione pubblica: erano tre lanterne a candela per via — qualcuna di più in quelle di lunghezza eccezionale — una al mezzo, le altre agli estremi: per meschina che fosse cotesta illuminazione, era cantata alla Corte in madrigali e sonetti e poemi: Luigi XIV faceva coniare a ricordo due grandi medaglie — una nel 1667 con la leggenda: *Urbs mundata et nocturnis facibus illustrata;* l'altra nel 1669 con la leggenda: *Urbis securitas et nitor — Providentia optimi principis;* ed all'estero se ne fece un caso di cui darà l'idea il seguente periodo, di una lettera italiana che riproduciamo dal D' Allemagne — *op. cit.* p. 323 —: « L'invenzione di illuminare Parigi durante la notte con una infinità di lumi merita che i popoli i più lontani vengano a vedere ciò che i Greci ed i Romani non seppero mai escogitare per la polizia delle loro repubbliche . . . Lo spettacolo è così bello e tanto bene inteso che Archimede medesimo, se vivesse ancora, non potrebbe aggiungere nulla nè di più aggradevole nè di più utile ». Ben s'intende che l'illuminazione si faceva solo nell'inverno — dall'1 novembre all'1 marzo — e si ometteva nelle notti in cui avrebbe dovuto risplendere la luna; economia, cotesta che durava ancora all'epoca in cui si erano introdotte le lanterne a riverbero, e che, al fiaccheraio del *L'Anglais à Paris* delle *Variétés Amusantes,* furioso dell'essere in istrada in completa oscurità, faceva mettere in bocca l'epigrammatico: « Les réverbères, comptaient sur la lune, la lune comptait sur les réverbères, et ce qu'il y a de plus clair c'est qu'on ne voit goutte ». Vale poi la pena di ricordare come ancora al principio del secolo XIX durassero i portatori di fiaccole e di lanterne dell'abate Laudati; e — per un giusto apprezzamento della loro utilità — come la loro storia ricordi aggressioni e rapine commesse da essi su coloro che li assumevano giusto per essere tranquilli su la propria sicurezza personale.

(1) Le vie di Londra cominciarono ad essere illuminate regolarmente a spese pubbliche nel 1694. Però fino dal principio del secolo XVI nei punti difficili stazionavano dei ragazzi — *linkboys* — che offrivano ai passanti l'aiuto delle loro fiaccole o lanterne: ancora nel 1841, quando la grande metropoli inglese contava più di 60.000 becchi a gas, il lamentevole « *Gentlemen, Light!* » dei *linkboys* non era completamente spento. — Pure per coteste notizie riguardanti l'illuminazione pubblica il lettore troverà larga messe di notizie e documenti nell'opera — di pregio veramente eccezionale anche per la copia e squisitezza delle illustrazioni — già citata dal signor D'Allemagne. Essa venne pubblicata a Parigi nel 1891 coi tipi del Picard.

bornes étroites d'un petit appartement » cotesta velocità, ecco una delle meraviglie a cui è giunto l'uomo nel campo dell'ottica durante il secolo XIX.

Vi riusciva primo appunto il Fizeau nel 1849 (1) — operando tra Suresnes (2) e Montmartre, in punti lontani prossimamente 8633 metri — con quell'ingegnoso metodo, delle eclissi prodotte dai denti di una ruota, che è descritto su tutti i Trattati di fisica, anche elementari (3), e che il Cornu (4) in una memoranda contingenza applicava di nuovo — venticinque anni dopo — perfezionandolo con tutte le risorse della meccanica e della scienza moderna.

(1) « *Sur une expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière.* » in *Comptes Rendus de l'Ac. d. Sc.*, sed. del 23 luglio 1849, T. XXIX, p. 90.

(2) Fizeau abitava la casa paterna a Suresnes — divenuta poi la residenza municipale, ed ora demolita —. Si è dal belvedere di quella casa che fu fatta l'esperienza.

(3) Il principio del metodo è così riassunto dal Cornu in una comunicazione all'*Ac. d. Sc.* — seduta del 14 dicembre 1874 — della quale si farà cenno più avanti: « On envoie à travers la denture d'une roue en mouvement un faisceau de lumière qui va se réfléchir à la station opposée. Le point lumineux qui en résulte au retour des rayons paraît fixe, malgré les interruptions du faisceau, grâce à la persistance des impressions de la rétine. L'expérience consiste à chercher la vitesse de la roue dentée qui eteint cette éspèce d'*echo lumineux.* L'extinction a lieu lorsque, dans le temps nécessaire à la lumière pour parcourir le double de la distance des stations, la roue a substitué le *plein* d'une dent à l'*intervalle* de deux dents qui livrait au depart le passage à la lumière ». — Accelerando gradatamente il moto della ruota fino a che avviene cotesta estinzione dell'*eco luminosa*, e misurando allora la velocità della ruota, è possibile conoscere il tempo che un dente impiega a sostituirsi all'intervallo fra due denti: esso è uguale a quello occorrente alla luce per la doppia distanza, e se ne può facilmente dedurre lo spazio che la luce percorre in un minuto secondo. Nell'esperienza del Fizeau la ruota portava settecentoventi denti, ed era montata su un rotismo mosso da pesi e costruito dal Froment. Dell'esperienza il Fizeau — *l. c.* — dice che « la lumière était empruntée à une lampe disposée de manière à offrir une source de lumière très-vive », e che « suivant la vitesse plus, ou moins, grande de la rotation, le point lumineux brille avec éclat ou s'éclipse totalement. Dans les circonstances où l'expériences a été faite, la première éclipse se produit vers 12,6 tours par seconde. Pour une vitesse double, le point brille de nouveau; pour une vitesse triple, il se produit une deuxième éclipse; pour une vitesse quadruple, le point brille de nouveau, et ainsi de suite. ... La moyenne deduite de vingt-huit observations qui ont pu être faites jusqu ici donne 70948 lieues de 25 au degré ». Il valore trovato non è molto esatto, sebbene non eccessivamente discordante da quello fornito dai metodi astronomici. Ma l'immenso progresso realizzato dal Fizeau stava nella *possibilità* di determinare quella enorme velocità con una precisione estrema — il che fece più tardi il Cornu — tra due stazioni terrestri e senza ricorrere ai fenomeni astronomici. Parlando del concetto di cotesta disposizione ideata dal Fizeau, il Cornu — *Ann. du Bureau des Long. pour l'an 1898*, pag. 14 della mem. C — scriveva molto giustamente: « Géometriquement rien n'est plus simple; mais, optiquement, rien n'est plus difficile que d'envoyer un mince rayons à plusieurs kilomètres et de regler assez bien le miroir placè si loin pour le ramener au point de départ, en lui conservant sa tenuité primitive. La réalisation pratique de cette conditions est un des résultats plus remarquables que la sagacité des Physiciens ait à jamais imaginé, et l'on ne sait vraiment ce qu'on y doit le plus admirer, ou la hardiesse de la conception ou la savante simplicité des moyens mis en oeuvres ».

(4) « *Determination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil* » in *C. R. de l' Ac. d. Sc.*. a. 1874, T. LXXIX, p. 1361. Il Cornu aveva portato al metodo del Fizeau diversi perfezionamenti, che sperimentati su una distanza di 10.310 m. — tra l' *École Polytechnique* e il Mont-Valérien — avevano dati risultati eccellenti e permesso di affermare che il metodo perfezionato — se usato su una distanza più grande e meglio precisata, e con apparecchi più potenti — era suscettibile di una grande precisione. I preparativi della spedizione per l'osservazione del passaggio di Venere sul Sole — fenomeno importantissimo per l'astronomia, che si compie ad intervalli di 8 e 112 anni, e si ebbe appunto nel 1874 dopo 112 anni dacchè non si era presentato — aveva richiamato l'attenzione degli astronomi su l'utilità di una determinazione precisa della velocità della luce, giacchè cotesta velocità, combinata con certe costanti astronomiche, permette di calcolare la parallasse del sole, la cui osservazione diretta, diremo col Cornu « exige de si pénibles voyages et le dévouement de tant d'astronomes ». Su proposta del Le Verrier, allora direttore dell'Osservatorio, il Consiglio di questo stabiliva, al principio del 1874, che si procedesse appunto, con tutte le cautele occorrenti ad avere la precisione desiderata, ad una determinazione della velocità della luce, e ne fu dato incarico al Cornu. Questi, assistito anche dai consigli del Fizeau, vi procedeva scegliendo come stazioni estreme l'Osservatorio di Parigi e la torre di Monthlery, la cui distanza — di circa 23 chilometri — era molto bene conosciuta, perchè determinata e controllata dagli osservatori più eminenti, specialmente in occasione dei grandi lavori geodesici, nonchè delle due celebri misure di velocità del suono fatte eseguire dall'Accademia delle Scienze nel secolo XVIII e dall'Ufficio delle Longitudini nel XIX. Il Cornu usò allora per la emissione della luce un cannocchiale di 37 cm. di apertura e di 8 m. e 25 di distanza focale; una ruota dentata capace di fare 1600 giri al secondo; un cronografo ed un registratore elettrici costruiti espressamente dal Breguet e che permettevano la sicurezza sul millesimo

Il Fizeau stesso, poi, ed il Foucault — contemporaneamente e separatamente — facevano nel 1850 altra esperienza di importanza capitale. Raccogliendo una tra le idee più geniali dell'Arago, essi, col metodo *dello specchio girevole* — immaginato dal Wheatstone (1) per determinare la velocità di propagazione della elettricità e la durata della scintilla elettrica — dimostravano come la luce si propaghi nell'acqua con una velocità che è i tre quarti di quella che essa ha nell' aria. Si tratta di una determinazione di velocità relativa, non di quella assoluta: ma per la scienza essa era — e di gran lunga — ancora più importante della assoluta, poichè risolveva in modo decisivo la questione se la verità, su la natura della luce, fosse dalla parte della teoria dell'emissione sostenuta dal Newton, o da quella della teoria delle ondulazioni, sostenuta dall' Huygens e dall' Eulero. La velocità di propagazione doveva essere maggiore nell'acqua secondo la prima, nell'aria secondo l'altra: Foucault e Fizeau, con l'avere trovato che la velocità nell' acqua era circa i tre quarti di quel che era nell'aria, rendevano alla scienza l'insigne servizio di additarle con sicurezza assoluta la verità (2): la data del 6 maggio 1850

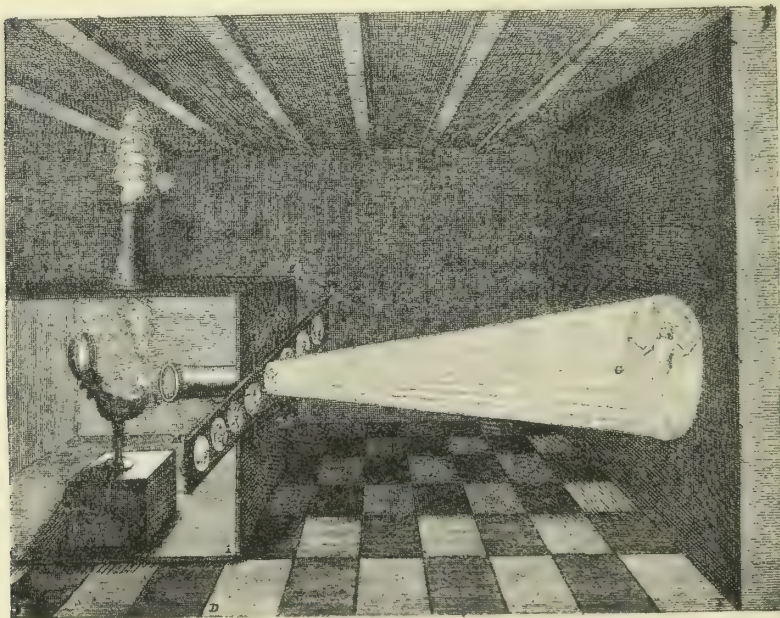



Fig. 1.
La lanterna magica del P. Kircher.
Ripr. delle fig. origin., *Ars. Magna Luc. et Um.*, ediz. di Amsterdam, 1671, pag. 768 e 769. La dispos. della fig. 2 aveva per iseopo di rend. ancora più magici gli effetti, col far appar. le immag. in una cam. ove non era nessuna macchina.

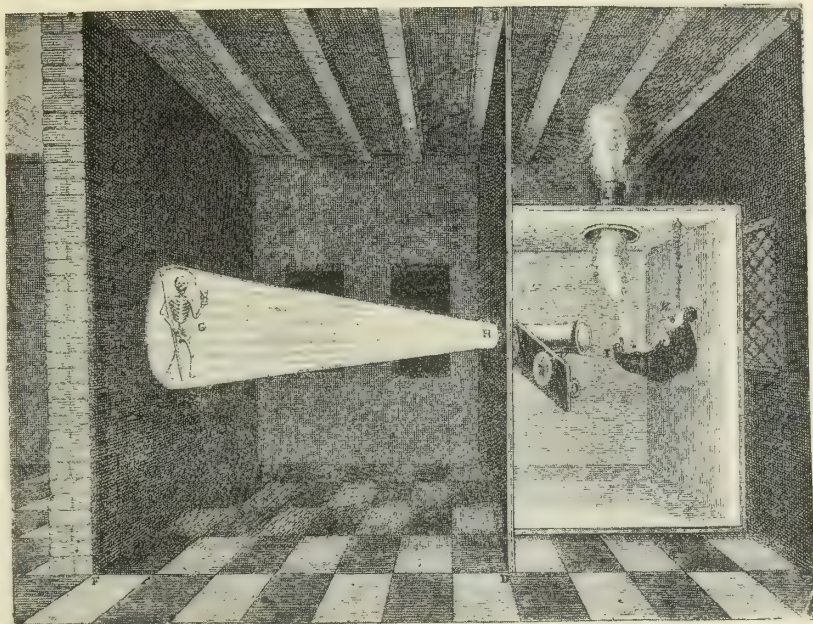
di secondo. La legge del moto del meccanismo motore della ruota dentata s'inscriveva su un cilindro coperto di nerofumo, e l'osservatore, grazie ad un segnale elettrico, registrava il momento preciso in cui era raggiunta la velocità conveniente Da 504 esperienze — in cui si variarono le ruote, il numero e la forma dei denti, la grandezza ed il senso della rotazione — il Cornu dedusse come velocità nell'aria 300.330, chilometri, 300.400 nel vuoto per minuto secondo di tempo medio, con un errore probabile *inferiore all'uno per mille* del valore relativo.

(1) « *An Account of some Experiments to measure the Velocity of Electricity and the Duration of Electric Light* ». Seduta del 19 Giugno 1834 della *Royal Society*. Vegg. *Phil. Trans.* stesso anno, parte II, p. 583.

(2) Fino dal 1838 — sed. dell'*Ac. d. Sc.* del 3 dicembre — l'Arago — *C. R.*, T. VII, pag 954 a 965, « *Sur un système d'expériences à l'aide duquel la théorie de l'émission et celle des ondes seront soumises à des épreuves décisives* , — aveva esposto il concetto di valersi dello specchio girevole del Wheatstone per risolvere *matematicamente* — aveva usato ad arte la parola — la questione « si la lumière se compose de petites particules émanant des corps rayonnants ainsi que le voulait Newton, ainsi que l'ont admis la plupart des géomètres modernes ; ou bien si elle est simplément le résultat des *ondulations* d'un milieu très rare et très élastique, que les physiciens sont convenus d'appeler l' *Éther* ». Il metodo — come venne reso applicabile dal Fizeau e dal Foucault — consisteva sostanzialmente in questo: un raggio di luce inviato su uno specchietto piano girevole è da questo riflesso così da cadere su un riflettore convergente — specchio concavo o lente convergente munita di uno strato di amalgama — che lo rimanda allo specchio girevole, atraverso all'aria o ad una colonna d'acqua, e lo riconduce al luogo di partenza. Il fatto che la luce impiega un certo tempo a propagarsi si manifesta con una deviazione fissa del fascio di ritorno: è l'effetto dell'angolo, d'altronde molto piccolo, di cui lo specchietto gira, mentre il fascio va al riflettore e ritorna allo specchietto. L'angolo di deviazione misura infatti il tempo im-

in cui il Foucault partecipava all'Accademia di Parigi il risultato delle sue esperienze è tra le più importanti nella storia della scienza, poichè solo da essa questa poteva procedere pienamente sicura di essere nel vero, mettendo a base delle speculazioni dell'ottica la teoria delle ondulazioni.

Fig. 2.
La lanterna magica del P. Kircher (v. legg. espl. a pag. precedente)

piegato dalla luce nel doppio tragitto, ed un osservatore, che riceva il raggio al ritorno dallo specchietto girevole, lo vedrà spostato tanto più quanto più grande è il tempo: se il fascetto sarà diviso in due, uno dei quali debba attraversare dell'acqua, mentre l'altro non incontri che dell'aria, lo spostamento sarà diverso, secondo la velocità di propagazione nell'uno e nell'altro mezzo. Il Fizeau — *Note sur l'exp. relative à la vitesse comparative de la lum. dans l'air et dans l'eau*, in *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, a. 1850, T XXX, p. 562 — adottava dapprima per il percorso nell'acqua una lunghezza di 3 m. e di 2,25 nell'aria, poi — Nota col med. titolo, stesso volume, pag 771 — riduceva a 2 m. la prima e proporzionalmente la seconda: così, giusta la teoria dell'emissione, gli spostamenti avrebbero dovuto essere uguali, giusta quella delle ondulazioni l'uno avrebbe dovuto risultare quasi il doppio — $\frac{16}{9}$ — dell'altro; fu quest'ultimo il risultato dell'esperienza. Essa venne disposta anche nel modo inverso, ed il risultato fu conforme a quanto era prevedibile, ammettendo vera la teoria delle ondulazioni. Di cotesto risultato comunemente si dà merito al Foucault, ed in realtà nella seduta del 6 maggio 1850 il Foucault — « *Méth. gén. pour mès. la vit. de la lum. dans l' air et les milieux transp. Vit. relat. de la lum. dans l'air et dans l'eau. Projet d'exp. sur la vit. de prop. du calorique ray.* », in *C. R.*, T. XXX, p. 551 a 560 — poteva annunciare il risultato dell'esperienza, mentre il Fizeau ed il Breguet non partecipavano che l'avere pronto l'apparecchio, non potuto adoperare perchè il cielo — non sereno nei giorni trascorsi tra il termine dell'impianto e quello della seduta — non aveva permesso l'impiego della luce solare, l'unica atta a prove richiedenti una sorgente molto intensa. A coteste esperienze si collega una pagina interessante di storia poco nota, che è narrata dal Cornu — Mem. C. dell'*Ann. du Bur. des Long.*, a. 1898, già cit — e che riferiamo con le parole stesse dell'eminente scienziato. Esposto come l'Arago con la sua penetrazione consueta avesse segnalato il principio capace di risolvere in modo decisivo la questione su la natura della luce, e come ciò richiedesse la misura della velocità di essa, prosegue: « Mais comment mesurer dans l'air et dans l'eau cette vitesse de la lumière (300.000 Km. par seconde dans l'air), vitesse si grande que les astronomes ont peine à l'apprécier à travers les espaces célestes? Malgré cette condition effrayante, Arago avait montré que non seulement l'expérience n'etait pas impossible, mais qu'elle était réalisable avec le miroir tournant imaginé par le célèbre physicien anglais Wheatstone pour mesurer une vitesse aussi énorme, celle de l'électricité. L'appareil avait été construit par Breguet et l'expérience, fondée sur le hasard d'apercevoir un trait de lumière » — l'Arago faceva girevole più di uno specchio — « n' avait donné aucun résultat. Arago, devenu presque aveugle, dévait se borner à décrire ses essais, et plein de confiance dans le succès final, il faisait appel aux jeunes physiciens pour mener à bonne fin une expérience si importante. Fizeau et Foucault repondirent à cet appel et se mirent à l'oeuvre. L'expérience comprenait deux parties bien distinctes: la première, purement mécanique, consistait à donner au miroir une vitesse de rotation aussi grande que possible; on possedait déjà la solution de Breguet à l'aide d'un mouvement d'horlogerie capable d'imprimer une vitesse de près de mille tours par seconde à un miroir extrêmemen léger; Foucault, mécanicien dans l'âme, en ténait une autre en réserve. La seconde partie comprenait un problème optique qui était vraiment le neud de la difficulté: il s'agissait de rendre fixe le faisceau lumineux dévié représentant la direction résultante de la vitesse de la lumière et de celle du miroir. Ce probléme les arrêta plusieurs années; mais le jour où la solution apparut fut le dernier de leur collaboration: les deux éminents physiciens se séparèrent et chacun de son côté travailla a réaliser l'expérience d'Arago. La Science n'a rien à

Al Foucault si deve poi anche una memoranda determinazione diretta di velocità assoluta (1), eseguita nel 1862; determinazione che il Michelson (2) ripeteva diciassette anni più tardi con minore ardimento e risultati, naturalmente, ancora migliori.

Come determinazioni dirette, la storia deve da ultimo ricordare le belle esperienze di Young e Forbes (3), eseguite col metodo di Fizeau e del Cornu, e notevoli sia perchè in esse i due fisici inglesi furono condotti ad operare con raggi semplici di diverso colore, sia perchè parve loro di riscontrare per la luce azzurra una velocità dell'1, 8 per cento superiore a quella della rossa, sia infine per avere dato luogo ad acute ed importanti osservazioni di Lord Ray-

gagner á rechercher les motifs de cette séparation, d'autant plus que la discrétion et la courtoisie des deux rivaux les ont laissé ignorer au public: le seul point que l'histoire, doive enregistrer, d'après les publications authentiques (séance de l'Académie du 6 mai 1850) c'est que l'un et l'autre, simultanément, avec des appareils optiquement identiques, apportèrent le résultat décisif. Foucault, qui s'était retiré dans son laboratoire, fit construire par Froment un miroir tournant mû par une minuscule sirène à vapeur; Fizeau installé dans la salle de la méridienne á l'Observatoire de Paris, s'adjoignit Louis Breguet pour réaliser un rouage imprimant le mouvement au miroir rotatif: voilà pour la partie mécanique. Quant au dispositif optique, élément essentiel et caractéristique de l'expérience, il est le même dans les deux appareils »: è la disposizione descritta sopra in questa stessa nota.

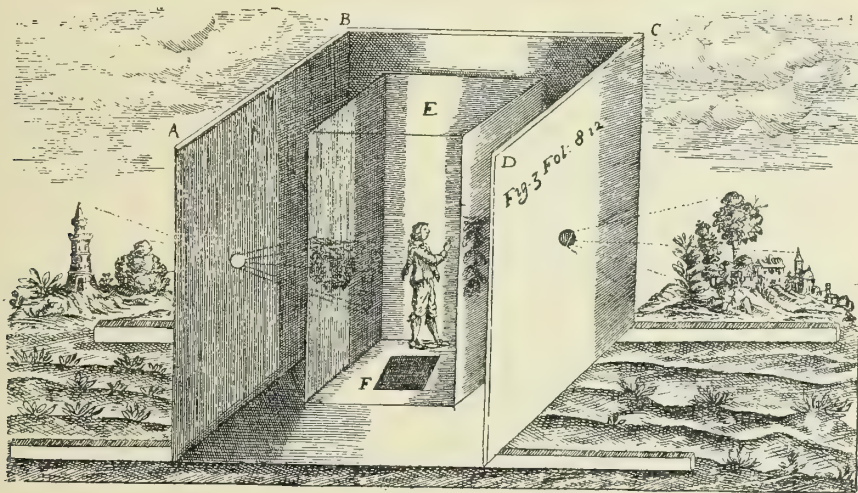
(1) « *Détermination exp. de la vit. de la lum.* », in *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, T. LV, p. 501. L'apparecchio impiegato è descritto nello stesso tomo, a pag. 792, in un'altra comunicazione col medesimo titolo. La disposizione adottata dal Foucault comportava la riflessione non più su uno specchio solo, ma successivamente su cinque specchi, in modo d'avere un percorso di 20 metri — invece che di 4, quale si aveva nell'esperienza del 1850 —. Lo specchietto — in vetro argentato, e di 14 millimetri di diametro — era montato su una piccola turbina ad aria « admirablement éxecutée par Froment », ed alla quale il moto era impresso mediante un mantice — ad alta pressione — del Cavaillé-Coll: la pressione dell'aria era mantenuta costante mediante un regolatore sensibilissimo, invenzione pure — allora recente — del celebre organaro di Parigi. Per contare i giri dello specchio si era ricorso ad una disposizione molto originale ed ingegnosa che il Foucault — *C. R.*, T. LV, p. 795 — descrive come segue: «Entre le microscope et la glace à reflexion partielle» — ossia proprio davanti al microscopio destinato a misurare la deviazione del raggio luminoso causata insieme dalla rotazione dello specchio e dal tempo che la luce doveva impiegare per percorrere i 20 metri — « se trouve un disque circulaire, dont le bord finement denté empiète sur l'image qu'on observe et l'intercepte en partie; le disque tourne uniformement sur lui-même, en sorte que si l'image brillait d'une manière continue, les dents qu'il porte à sa circonférence échapperaient à la vue par la rapidité du mouvement. Mais l'image n'est pas permanente, elle résulte d'une série d'apparitions discontinues qui sont en nombre égal à celui des revolutions du miroir, et dans le cas particulier où les dents de l'écran se succèdent aussi en même nombre, il se produit pour l'oeil une illusion facile à expliquer, qui fait reparaître le denture comme si le disque ne tournait pas. Supposons donc que ce disque portant n dents à sa circonférence fasse un tour par seconde et qu'en même temps on mette la turbine en marche; si en réglant l'écoulement de l'air moteur on parvient à maintenir l'apparente fixité des dents, on pourra tenir pour certain que le miroir fait effectivement n tours par seconde». Come poi il meccanismo — costruito dal Froment — fosse squisitamente perfetto, lo dice il Foucault ricordando come giornalmente gli occorresse « de lancer le miroir à 400 tours par seconde et de voir ces deux appareils marcher d'accord à $\frac{1}{10.000}$ près pendant des minutes entières ». Malgrado tanta perfezione nella valutazione del tempo, le misure non avevano dato dei risultati aventi la concordanza che poteva aspettarsi. Il Foucault trovò la causa del fatto in ciò che il micrometro non aveva un grado di squisitezza rispondente a quella del rimanente. Onde si attenne al partito di variare la distanza tra lo specchio e la mira — che gli serviva come punto di riferimento del raggio incidente — in modo da produrre una deviazione di grandezza stabilita preventivamente e misurata con tutta precisione. Con ciò egli arrivò ad un risultato veramente mirabile, trovando per velocità della luce nell'aria 298.000 chilometri al secondo. Il particolare riguardante il micrometro dica al lettore quanto sia esigente l'esperienza nell'armonia da aversi — in fatto di precisione — nei diversi particolari.

(2) *American Journal of Sc. and Arts.*, a. 1879, II sem., Vol. XVIII, pag. 390. Riassunto in *Journ. de Phys.*, a. 1880, p. 215. Il prof. Michelson stabiliva tra lo specchio girevole e quello fisso una distanza di circa 2000 piedi — 601 m. —; lo specchio girevole, montato su una turbinetta — ad aria — come nelle esperienze del Foucault, eseguiva 257 rivoluzioni al secondo, controllate mediante le vibrazioni di un cronografo elettrico a corista che dava il do_3. La deviazione del raggio luminoso era di cm. 13,3, vale a dire duecento volte maggiore che nelle esperienze del Foucault. La velocità trovata fu di Km. 299.820, valore medio di cento serie da dieci osservazioni ciascuna.

(3) « *Experimental Determination of the Velocity of white and coloured Light* » in *Nature*, 28 luglio 1881, pag. 303. Estr. di comunicazione letta alla *Royal Society* il 19 marzo antecedente.

leigh (1) sul vero significato della velocità quale risulta dalle esperienze ordinarie. Esse — perchè la luce bianca è un insieme di raggi — dànno, infatti, quella con cui si propaga un sistema di onde luminose, non un'onda di un tipo — o colore — determinato.

Ora poi cotesta velocità dei singoli raggi — stabilita come vera la teoria delle ondulazioni — può essere fatta, sia ricorrendo ai fenomeni di interferenza, di diffrazione, di polarizzazione, — V. Introduzione, pag. 43 e seg. — sia all'indice di rifrazione — che deve essere ritenuto uguale al rapporto della velocità di propagazione nei due mezzi, cosicchè, ove sia nota quella in uno, se ne può calcolare quella nell'altro —.

Anzi fino dal 1862 il Fizeau (2) si valeva delle frange di diffrazione

La camera oscura applicata al disegno.
Ripr. della fig. 3, Tav. XXVIII, p. 807 dell'*Ars M. Luc. et Um.*, prima ediz. 1616.

per ricerche ancora più delicate; per determinare, cioè, la influenza della temperatura su la velocità di propagazione in diverse specie di vetri e cristalli, come nella fluorite e nello spato d'Islanda — tagliato sia perpendicolarmente che parallelamente all'asse —.

Degli altri campi nei quali i progressi dell' ottica durante il secolo XIX furono veramente meravigliosi, segnaliamo subito lo studio spettroscopico dei raggi, da cui — tra altro — vennero alla chimica il processo più squisito di analisi ed il più efficace mezzo con cui scoprire nuovi corpi, all'astrofisica il procedimento con cui arrivare alla conoscenza della costituzione dei

(1) « *On the Velocity of Light* » in *Nature* del 25 ag. 1881, p. 382. Cotesta comunicazione dell'illustre scienziato inglese dava luogo ad obbiezioni del Michelson, che — *Nature*, 15 settembre 1881, p. 460 — osservava come nei suoi esperimenti — posta diversa la velocità di propagazione della luce rossa e della violetta — egli avrebbe dovuto avere uno spettro di 2,4 mm. di lunghezza, mentre non ne aveva veduto affatto. Altra obbiezione faceva — *Nature* del 13 ottobre 1881, p. 556 — il Maculay, dando luogo ad una risposta di lord Rayleigh — « *The Velocity of Light* », in *Nature* del 17 nov. 1881, pag. 52 — nella quale è trattata analiticamente la questione della relazione tra la velocità di un gruppo di onde e quella di un'onda determinata, è trattato pure analiticamente il metodo del Foucault, è dimostrato come cotesto metodo — messo in relazione con quello della ruota dentata — dà il mezzo di determinare entrambe le velocità, e si chiude con la osservazione che, dalle esperienze del Cornu e da quelle del Michelson, è provato « indipendentemente dai metodi astronomici come non vi è differenza sensibile tra l'una e l'altra ».

(2) « *Recherches sur les modif. que subit la vit. de la lum. dans le verre et plus. autr. corps solides sous l'infl. de la chal.* » in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1862, T. LXVI, p. 429 a 482

corpi celesti, all'astronomia la rivelazione e le misure di moti che il telescopio stesso non avrebbe mai permesso di sospettare.

Siffatto studio principiava, si può dire, alla fine del secolo XVIII, quando — *Phil. Trans.*, 1800 — Herschel constatava come lo spettro delle radiazioni solari cominciasse ben prima del rosso, con raggi che non colpiscono l'occhio, ma sono rivelati dal termometro. Poco appresso il Wollaston (1) scopriva che dopo lo spettro visibile dalla parte del violetto, esiste un altro spettro, quello chimico. Per tale modo l'estensione dello spettro della radiazione solare veniva almeno triplicata; ma ciò che più importa si è che la fisica si avviava così a considerare le radiazioni da un punto di vista completamente nuovo, assai più largo e immensamente fecondo. In ciò doveva poi riuscirle contributo di portata incalcolabile la scoperta delle righe nere che lo spettro presenta se è puro, quale può aversi quando si evita la sovrapposizione di raggi col limitare il pennello luminoso introducendolo per fissura molto sottile — come fecero il Wollaston (2) per il primo osservando luce riflessa dalle nubi, ed alcuni anni dopo (3) il Fraunhofer, celebre ottico di Benedictbaiern, il quale, poi, sperimentava anche in condizioni migliori che il Wollaston col valersi di un cannocchiale. — Coteste righe nere — di cui il Fraunhofer designava con le lettere A, B, C, D, E, F, G, H i gruppi principali da lui osservati (4) — rivelavano il fatto inatteso che la luce solare presentava

Disposizioni fotometriche del Bouguer.
Rip. della Tav. I, dell'op. del Bouguer. *Essai d'Opt. sur la gradation de la Lum.* Parigi, 1729.

(1) L'osservazione è in una nota apposta — pag. 379 delle *Phil. Trans.* per il 1802 — alla memoria dello stesso Wollaston: « *A Method of examining refractive and dispersive Powers by Prismatic Reflexion* », stesso volume, pag. 365 a 380 —. « Dagli esperimenti del Dr. Herschel » vi scrive l'eminente fisico « apprendiamo che da una parte vi sono raggi invisibili che dànno calore e sono meno rifrangibili della luce rossa, e dall'altra ho osservato io stesso (la medesima osservazione venne fatta da Ritter) che vi sono similmente dei raggi invisibili di un'altra specie, rifratti maggiormente dei violetti. Si è unicamente per i loro effetti chimici che può scoprirsi la loro esistenza; e la sostanza che può, e di gran lunga, con maggiore squisitezza rivelare la loro presenza è il cloruro bianco d'argento ». Il Wollaston prosegue poi con cotesto altro passo che è pure interessante: « A Scheele, tra molte importanti scoperte, dobbiamo l'avere distinto nettamente il calore raggiante e la luce (*Traité de l'air et du feu* § 56,57); ed a lui pure dobbiamo la osservazione che quando il cloruro d'argento viene esposto al comune spettro prismatico si annerisce nel violetto più che in qualunque altra specie di luce. Nel ripetere l'esperimento, ho trovato che l'annerimento si estende non solo per lo spazio occupato dal violetto, ma in uguale misura, e ad una distanza pressapoco uguale, al di là dello spettro visibile ».

(2) Monog. cit. nella nota antecedente.

(3) « *Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre* » in *Denkschr.* dell'Accademia di Monaco, a. 1814 e 1815. La monografia venne pubblicata anche negli Annali del Gilbert, a. 1817, T. XXVI, p. 264 a 313: il mondo scientifico la conobbe anzi dagli Ann. del Gilbert prima che dalle pubblicazioni accademiche — essendo il volume di queste relativo al 1814 e 1815 uscito dopo quello degli *Ann. der Phisik* —. Molto giustamente poi il Gilbert notava su quella monografia veramente insigne che essa contiene più — avrebbe potuto dire: molto di più — di quello che dice il titolo. Non si tratta infatti solo di « determinazioni dei poteri rifrangente e dispersivo di diverse qualità di vetri, in relazione al perfezionamento dei cannocchiali acromatici »: bensì vi sono fatti nuovi — e meraviglie, dice il Gilbert — intorno agli spettri di diverse sorgenti di luce.

(4) A è al principio del rosso, B in esso e C al limite col ranciato; D ed E stanno nel giallo, F è nel verde, G tra l'azzurro e l'indaco; H all'estremo del violetto. In realtà il Fraunhofer ha osservato un numero molto rilevante di righe nere — 574 tra B ed H, oltre ad un gruppo indicato da lui con *a* e posto tra A e B —.

interruzioni nelle serie dei raggi. In realtà poi « quando » diremo col Kirchhoff (1) « si fa uso di parecchi prismi e di un cannocchiale a forte ingrandimento per osservare lo spettro, si vede, se gli apparecchi presentano una certa perfezione, cotesta serie di linee decomporsi in un numero di più in più considerevole di gruppi talmente caratteristici, che l'occhio può riconoscerli e facilmente distinguerli gli uni dagli altri. Si possono esattamente paragonare cotesti gruppi alle costellazioni, nelle quali è facile distinguere ciascuna stella che ne forma parte ».

Su coteste righe nere il Brewster faceva « l'importante scoperta che ne appaiono di nuove man mano che il sole si avvicina all'orizzonte (2) ». Il Kirchhoff poi ripetutamente vedeva col suo apparecchio « simili gruppi di righe svilupparsi con una sveltezza cospicua, segnatamente nella vicinanza della riga D » mentre « col sole alto nel cielo aveva indizi di righe e di strisce confuse » che riteneva si sarebbero potute, con apparecchi di maggiore portata risolvere in gruppi di righe visibili, raggiungendo con ciò risultati « paragonabili per interesse a quelli della risoluzione delle nebulose del cielo ».

La teoria dell'arcobaleno negli scritti del Cartesio.
Ripr. della fig. a pag. 213, T. I. — *Meteora*, Capo VIII, *De Iride* — delle *Opera Philosoph.*, ediz. di Amsterdam, a 1677.

D'altra parte il Fraunhofer aveva osservato delle righe brillanti nello spettro della fiamma di una candela; il Brewster e W. A. Miller (3) in quello di fiamme contenenti sali metallici: lo Swan (4) aveva misurato con una grande cura la posizione di righe brillanti prodotte dal nucleo interno della fiamma del

(1) Kirchhoff. « *Untersuchungen über des Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente* » in *Abhandlungen* dell'Acc. delle Sc. di Berlino, a. 1861, pag. 63 a 95. Cotesta monografia, classica come quella del Fraunhofer, è rip. integr. anche in *Ann. de Ch. et de Phys.*, T. LXVIII, p 5 a 45.

(2) Kirchhoff, *Monog. cit.*

(3) « *Experiments and Observ on some Cases of Lines in the Prismatic Spectrum produced by the passage of Light through Coloured Vapours and Gases, and from certain Coloured Flames* » in *Phil. Mag.* ag. 1845, p. 81 a 91 con due tavole a colori. La importante monografia del Miller, professore di chimica al *King's College* di Londra, era stata letta il 21 giugno antecedente alla riunione della *British Association*, tenuta a Cambridge. Il Miller usava la fiamma di una soluzione alcoolica del sale: tra i sali adoperati notiamo il *cloruro di rame*, *il nitrato di stronzio*, i *cloruri di calcio, di bario, di sodio, di manganese*. Il lettore si renderà parziale ragione della scelta di queste sostanze tenendo presente che alcune di esse dànno alla fiamma una forte colorazione, e che i fisici di quell'epoca andavano cercando appunto la causa di siffatta colorazione.

(4) La memoria dello Swan, essa pure molto importante, si trova nelle *Transactions* della Soc. Reale di Edimburgo. Il Verdet ne dà un estratto nel T. LVII, anno 1859, degli *Ann. de Ch. et de Phys.* p. 363. Da cotesto estratto dell'illustre fisico togliamo il seguente brano che può dare una prima idea della squisitezza a cui giunge l'analisi spettrale. « Le righe » — parla di quelle brillanti del gas illuminante — « non sono dovute a qualche circostanza eccezionale: esse sono le medesime quando si sostituisce l'orificio in rame della lampada del Bunsen con un tubo in ferro, in vetro od in platino. Esse sono pertanto caratteristiche della fiamma del gas. Non è così della riga brillante che occupa nel giallo il posto della riga oscura D dello spettro solare. È probabile che essa dipenda dalla piccolissima quantità di sal marino » — si sa ora che dipende dal sodio, metallo che è uno dei costituenti di cotesto sale — « che si può supporre contenuto, sia nelle polveri sospese

becco Bunsen — lampada a gas illuminante misto ad aria in proporzioni da rendere la fiamma non luminosa ma calorifica al massimo, come negli ordinari apparecchi di scaldamento appunto a gas illuminante, che non sono altro che una derivazione del becco Bunsen — e trovato le stesse righe negli spettri delle fiamme di molti idrocarburi; il Kirchhoff ed il Bunsen, finalmente in comune, in un celebre lavoro, rimasto classico (1) datato da Heidelberg — aprile 1860 — esponevano l'idea che « si può fondare su l'esistenza di coteste righe un metodo di analisi qualitativa che allarga considerevolmente il dominio delle investigazioni chimiche e permette di risolvere problemi senza di esso non affrontabili ». I due grandi scienziati tedeschi mettevano così le basi di uno dei rami più importanti della scienza moderna. Essi, anzi, facevano di più: costruivano addirittura una parte dell'edificio, dopo averne messe per intero le basi. Nella stessa monografia pubblicavano infatti l'applicazione del metodo — fatta usando un becco Bunsen, nella fiamma del quale il sale era introdotto mediante una consueta perla di borace portata da un filo di platino, e controllando i risultati col volatilizzare mediante la scintilla elettrica il metallo pure caratteristico del sale — alla ricerca dei metalli alcalini ed alcalino terrosi, aggiungendo alcuni fatti dai quali emergeva nella maniera più luminosa il valore strabiliante di esso (2), ed annunciando che « l'analisi dello spettro potrà condurre alla scoperta di elementi ancora ignoti », a conferma di che asserivano pure come appunto « in seguito a risultati posi-

L'occhio e le sue parti secondo Keplero.

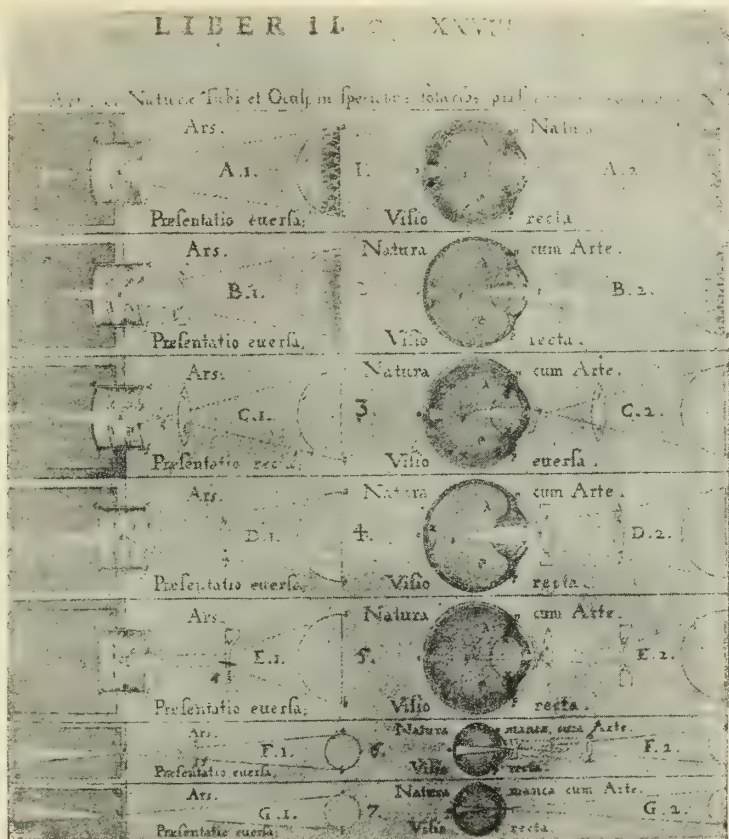
Ripr. della tav. a pag. 177 dell'op. del Keplero *Ad Vitellionem Paralifomena, quibus Astronomiae pars optica traditur*, Francoforte, 1604.

nell'aria, sia nelle stesse materie combustibili. Si può infatti darle una intensità straordinaria con la introduzione di una quantità di cotesto sale, inapprezzabile coi mezzi di analisi più delicati. Così una lamina di platino immersa un istante in acqua contenente un cinquantamillesimo del suo peso di sal marino, e portata nella fiamma di una lampada del Bunsen, la colora fortemente in giallo e rende brillantissima la riga di cui si parla. Malgrado cotesto splendore si può ritenere che su la lamina non vi sia nemmeno un centomillesimo di milligrammo di sale ».

(1) « *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen* » in *Pogg. Ann.* a. 1860, T. CX, p. 161 a 189, con la Tavola (V del Tomo) degli spettri del *potassio*, *sodio*, *litio*, *stronzio*, *calcio*, *bario*.

(2) « Abbiamo » — scrivono gl'inventori dell'analisi spettrale *l. c.* p. 168 — « fatto detonare 3 milligrammi di clorato di sodio misto a zucchero di latte, nel punto della sala più lontano dall'apparecchio, mentre noi si osservava lo spettro di una fiamma non luminosa di un becco a gas; la camera in cui si fece l'esperienza misura circa 60 m.c. Dopo qualche minuto, la fiamma, colorandosi in giallo scialbo, venne a presentare, con una grande intensità, la riga caratteristica del sodio, e cotesta riga non scomparve completamente se non dopo dieci minuti. Tenendo conto della capacità della sala e del peso del sale impiegato nell' esperienza, si trova facilmente che l'aria della sala non conteneva in sospensione che un ventimilionesimo, del suo peso, di sodio. Siccome un minuto secondo basta per osservare molto comodamente la reazione, e siccome in questo tempo la fiamma impiega 50 centimetri cubi, ossia 0,0647 di grammo di aria, non contenente che un ventimilionesimo di milligrammo di sale di sodio, così si può calcolare che l'occhio percepisce distintamente la presenza di meno che *un tremilionesimo di milligrammo* di sale di sodio ».

tivi ottenuti con l'osservazione dello spettro » potessero « affermare con sicurezza che oltre il potassio, il sodio ed il litio, esiste un quarto metallo alcalino, di cui lo spettro è altrettanto caratteristico e semplice quanto quello del litio ».

Alla scoperta di cotesto metallo, il *cesio* — trovato da Kirchhoff e Bunsen nell'acqua madre proveniente dall'acqua minerale di Dürkheim (1), e così chiamato « dal *coesius* che presso gli antichi serviva a designare l'azzurro della parte superiore del firmamento » — si accompagnava quella del *rubidio* (2) — « da *rubidus*, usato dagli antichi a dinotare il rosso più carico » — fatta dai medesimi trattando della lepidolite di Sassonia (3), e facevano seguito bentosto due altre; quelle, cioè, del *tallio* — rivelato al Crookes nel 1861 (4) da una riga verde brillante dello spettro fornito da materiale di un deposito selenifero dell'Hartz, ed isolato, riconosciuto come

Le esp. del P. Scheiner su la visione e la teoria degli occhiali.

Rip. dall'ediz. orig. dell'op. dello Scheiner. *Oculus, hoc est fundamentum opticum. Oeniponti* — Innsbruck — *apud Danielem Agricolam*, a. 1619.

(1) KIRCHHOFF e BUNSEN, pag. 338 delle « *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen* », seconda memoria, in *Pogg. Ann.*, T. CXIII, a. 1861, pag. 337 a 381.

(2) *Ibid.* p. 339.

(3) Il rubidio ed il cesio furono poi ritrovati — quasi sempre in proporzioni di una tenuità singolare — in moltissime sostanze. Già Kirchhoff e Bunsen li riscontravano anche nelle acque madri di Kissingen e di Kreutznach, nelle sorgenti di Loden presso Francoforte, e di Ungernach, e nelle acque di Kochbrunnen. Il Redtenbacher di Vienna ne segnalava poi la presenza nell'acqua di Hall e nelle acque madri delle sorgenti salate di Ebensee; lo Schrötter li scopriva nelle acque madri delle saline di Aussee e nel mica litifero di Zinnwald; sopra tutti il Grandeau — *Rech. sur la prés. du rubidium et du coesium dans les eaux naturelles, les minéraux et les végétaux*, in *Ann. de Ch. et de Phys*, a. 1863; T. LXVIII, p. 155 a 256 — ne constatava una diffusione veramente degna di nota. Oltre che in certi minerali — lepidolite di Praga, petalite di Uto, trifillina, lepidolite di Rozena — il Grandeau trovava il rubidio ed il cesio nelle acque di Bourbonne les Bains nell'Alta Marna — grammi 0, 187 di cloruro di rubidio, 0,325 di quello di cesio, per 10 litri di acqua — di Vichy, di Mont Dore; il rubidio nel salgemma e nel salnitro di alcune miniere francesi, in residui di cristallizzazione delle betterave a Corbehem, Quesnoy sur Deule presso Lilla, nei tabacchi dell'Avana, del Kentuchy, della Virginia, dell'Algeria, della Macedonia, dell'Ungheria, di Lilla, nei caffè — Moka, Martinica, Giava rosso, Calcutta — nelle foglie del the e della coca, nelle acque madri dei tartrati provenienti dai vini dell'Alsazia e del Mezzodì della Francia. Lo stesso Grandeau non trovava traccia, invece, nè del rubidio nè del cesio nelle acque dell'Oceano e del Mar Morto, nei salgemma dell'Est della Francia, nella colza, nel cacao, nella canna da zucchero.

(4) Le due prime memorie del Crookes relative al tallio sono nel *Chemical News* del 1861.

un metallo, e studiato, dal Lamy, (1) professore alla Facoltà di Scienze di Lilla — e dell'*indio* — scoperto da Reich e Richter di Freiberg (2) nelle blende locali, caratterizzato da una riga violetta e da un' altra nell' indaco a cui deve il nome, e sul quale qualche anno dopo, fece studi accurati anche il Winckler (3) —; molto più tardi, poi, si aggiungeva ad esse quella del *gallio* — trovato il 27 agosto 1875 (4) dal Lecoq de Boisbaudran —. Non insisteremo maggiormente in una enumerazione riguardante la chimica più che la fisica, e già abbastanza copiosa per mostrare la fecondità del nuovo metodo di analisi; ricorderemo solo come lo spettroscopio facesse scoprire al Lockyer nel 1867 nel sole una sostanza — l'*elio* — che poi nel 1882 il Palmieri osservava anche su la terra in un lapillo del Vesuvio, ed il Ramsay nel 1895 riusciva ad isolare. Diremo piuttosto come lo studio, fatto dal Kirchhoff e dal Bunsen, di precisare il numero e la posizione delle righe brillanti caratteristiche dello spettro di ciascun elemento portato allo stato di vapore incandescente, avesse ridotto l' analisi chimica qualitativa a cotesto procedimento meravigliosamente semplice, sicuro, e squisito, del volatilizzare in un becco Bunsen un briciolo, poco meno che impercettibile, della sostanza da analizzarsi, vedere quanti e quali righe se ne avessero allo spettroscopio, e confrontare coteste righe con quelle di uno spettro in cui siano tutte le linee degli elementi conosciuti.

Fizeau.
Da fotografia appartenuta al Cornu (*).

Su cotesto argomento non possono poi esser taciuti gli studi fatti su lo spettro della scintilla elettrica e su quelli dei metalloidi a bassa temperatura. Sul primo ricordiamo il Fraunhofer ancora, che scopriva come fosse

(*) *Cliché* cortes. fav. dai signori E Sartiaux e M. Aliamet, che lo fec. eseg. per la pubblic. indicata in nota a pag. 219.

(1) « *De l'existence d'un nouveau métal, le Thallium* » in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1863, T. LXVIII, p. 385 a 417. La scoperta del tallio diede luogo ad una contestazione vivace da parte del Lamy. La giustizia ci pare sia bene osservata dal rapporto del Dumas all'*Ac. d. Sc.* — seduta del 15 dicembre 1862, relazione di una Commissione nella quale erano colleghi al Dumas il Pelouze ed il Sainte-Claire Deville. — Nel rapporto, ricordato come il Lamy annunciasse alla *Royal Society* di Londra la sua scoperta il 16 marzo 1862 e mettesse il 10 giugno sotto gli occhi del *Jury de Chimie*, alla presenza del Crookes, un bel lingotto di tallio, ed osservato come il Crookes, se aveva dei diritti da salvaguardare, avrebbe dovuto condurre immediatamente i membri della Giuria nel suo laboratorio mostrando note e prodotti, anzi che ascoltare senza osservazioni la comunicazione del Lamy salvo poi presentare otto giorni dopo alla *R. Soc.* una nota indicante che egli avrebbe avuto conoscenza già da molto tempo della natura metallica del tallio e delle proprietà essenziali del nuovo corpo; dopo tutto cotesto, diciamo, è scritto: « Le point d'histoire qui nous occupe est réglé par deux dates authentiques: l'une du 30 mars 1861, où M. Crookes annonce l'existence d'un corps nouveau, qu' il croit non métallique, caractérisé par une brillante raie verte; l'autre du 16 mai 1862, où M. Lamy fait connaître le nouveau métal en qui se retrouve cette propriété et qui la possède seul ».

(2) « *Vorläsige Notiz über ein neues Metal* » in *Journal für praktische Kemie*, a. 1863, T. LXXXIX, p. 451.

(3) Il bel lavoro del Winckler, che si può dire una monografia completa su l'indio — pubblicato nel N. 21, a. 1867, del *Journal für prahtische Kemie*, T. CII, p. 273 — trovasi riassunto in *Ann. de Ch. et Phys.* a. 1868, T. XIII, p. 490.

(4) « *Caract. chim. et spectroscop. d'un nouv. métal, le Gallium, decouv. dans une blende de la mine de Pierrefitte, vallée d'Argelès (Pyrénées).* » in *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, a 1875, II sem. T. LXXXI, p. 493. Lo scopritore proseguiva poi lo studio delle proprietà del nuovo metallo: i risultati di cotesti studi si trovano pure nei *Comptes Rendus*, tomo citato, pag. 1100 a 1105, e a. 1876, I. sem., T. LXXXII, pag. 168, 1036 e 1098. Il gallio offre un esempio cospicuo della delicatezza dell'analisi spettrale. I primi 10 centigrammi che il Lecoq de Boisbandran riuscì ad isolare, rappresentavano il prodotto avuto da 431 chilogrammi di minerali diversi.

costituito da un piccolo numero di righe brillanti; il Wheatstone (1) che riconosceva come il posto di esse mutasse con la natura degli elettrodi; il Masson (2) che le disegnava con tanta cura — dice il Jamin — quanta ne aveva messa il Fraunhofer nel disegnare le righe nere; l'AOngström (3) che vi distingueva due classi di righe, quelle dei metalli costituenti gli elettrodi e le altre dipendenti dalla natura del gas attraversato dalla scintilla: il Van der Willigen (4) che rendeva lo studio della scintilla assai più facile, impiegando il rocchetto del Ruhmkorff, invece delle ordinarie macchine elettriche, e notava l'aggiungersi di nuove righe quando gli elettrodi s'imbevono con dissoluzioni saline; il Plücker (5) che studiava cotesto ordine di fenomeni nei tubi del Geissler; il Foucault (6) che prendeva in esame l'arco voltaico prodotto, sia impiegando carboni, sia usando metalli svariati, e richiamava l'attenzione sul fatto del grande splendore offerto dalle righe in coteste condizioni.

Foucault.

Da fotografia appartenente al sig. Pellin, il degno successore del Duboscq nella direzione della celebre fabbrica parigina di istrumenti di ottica (*).

Circa lo spettro dei metalloidi — ci sia concesso usare questa parola, forse più chiara per la generalità dei lettori — sono classici oltre i lavori già ricordati dello scozzese Swan, del Van Willigen e quelli del Plücker sul carbonio, dell'Attfield (7) — che, aumentando l'ingrandimento e l'intensità della fiamma, potè vedere come le righe brillanti osservate dallo Swan presentino l'aspetto di strisce sfumate, risolvibili realmente in righe distinte finissime, eccessivamente numerose, addossate le una alle altre con intensità luminosa affievolentesi verso un lato — del Dibbits (8) che ha dato disegni esatti dello spettro ottenuto dalla combustione dell'ossido di carbonio e del cianogene, sia nell'aria, sia nell'ossigeno puro — e specialmente dell'AOngström e Thalén (9), che prendevano in esame la questione, già trattata dal Plücker, della molteplicità di tipi di spettro offerto appunto dal carbonio; sono classici — diciamo — i lavori del Van Willigen, del Plücker e dei fisici scandinavi testè nominati su l'azoto; del Wüllner (10) sui vapori del jodio e del bromo, e sull' idrogeno — ragioni di opportunità ci fanno ricordare qui cotesti lavori su l'idrogeno sebbene si tratti di un metallo — l'ossigeno, l'azoto, sotto pressioni diverse; del Frankland (11), che scopriva

(*) *Cliché* cortes. fav. dai sig. E. Sartiaux e M. Aliamet, e da essi fatto eseg. per il lav. ric. in nota a pag. 219.

(1) *Phil. Mag.* a. 1835, T. VII, p. 299.

(2) *Ann. de Ch. et de Phys.* T. XXXI delle serie III, p. 295,

(3) *K. Vetensk. Akad. Handling.* Stockholm 1853, pag. 335.

(4) *Pogg. Ann.* a. 1859, T CVI p. 610, T. CVII, p. 473.

(5) *Pogg. Ann.* a. 1859 T. CVII p. 496 a 539 e p. 638 a 643.

(6) *L'Institut*, a. 1849, T. XVII, p 45.

(7) *Phil. Trans.*, a. 1862, T. CLII, parte I, p. 221.

(8) *Akademisch Proefschrift, Rotterdam*, 1863, in AOngström e Thalén, *Rech. sur les spectres des mètalloïdes* — *Nova Acta* di Upsala, 1875, T. IX parte II, memoria IV —.

(9) Mem. testè citata.

(10) *Auftrage der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg* 1862; e *Pogg. Ann.* a. 1863, T, CXX, p. 158; a. 1868, T CXXXV, p. 497; a. 1869, T. CXXXVII, p. 337; a. 1872, T. CXLIV, p. 481.

(11) *Annalen der Pharmacie, Supplementband* VI.

la continuità dello spettro dell'idrogeno bruciante nell'ossigeno a forte pressione — 10 atmosfere —.

Ma è tempo di passare ad un altro punto importante, al riassunto storico dell'applicazione dello spettroscopio all'esame dei corpi celesti —.

È un' applicazione che ha due branche distinte: l'una riguarda la costituzione, l'altra i movimenti.

Della prima la base è a ricercarsi — insieme ai fatti ricordati relativamente alla esistenza delle righe nere dello spettro solare e del tipo di spettro offerto dai vapori incandescenti; fatti ai quali è da aggiungersi l'altro, la cui scoperta è dovuta al Draper (1) professore di chimica all'Università di New York, dell'essere invece luminoso continuo, senza righe nè brillanti nè nere, lo spettro di un solido incandescente — vogliasi in una osservazione del Foucault (2) molto semplice in appa-

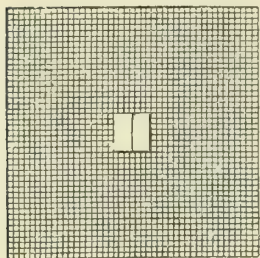



Fig. 2.

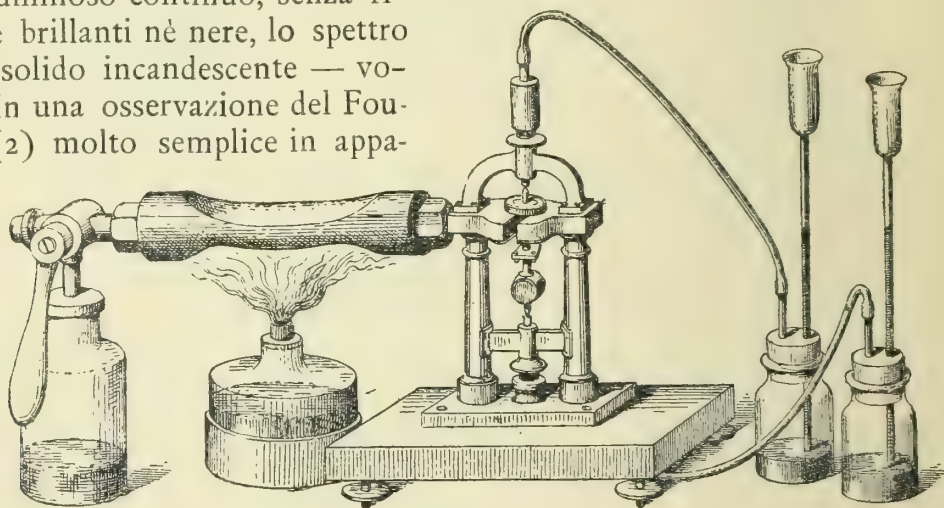



Fig. 3.

Fig. 1.

Esp. del Foucault sul rapporto delle vel. di prop. della luce nell'aria e nell'acqua.

Ripr. delle fig. 3, 5, 11, Tav. II, degli *Ann. d. Ch. et de Phys.*, T. XLI, a. 1854, meme orig. del Foucault cit. nel testo. p. 343, nota.

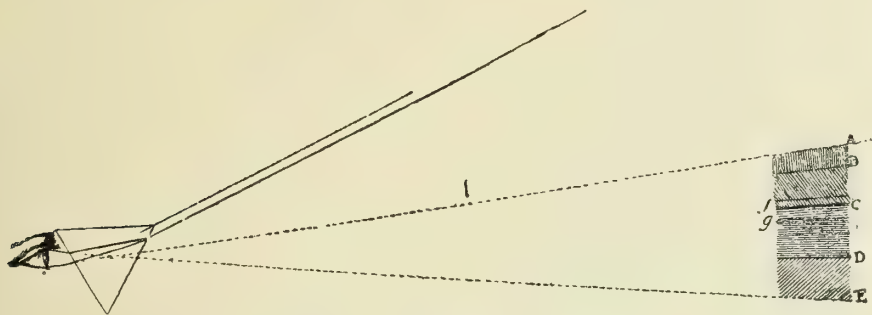
Legg. espl. — Fig. 1. Disposiz. gen. dell'esperienza : *a* oggetto — costituito della mira rappr. dalla fig. 2 —; *L* obiettivo — dist. foc. m. 1,90; — *c* specchio girev. — diam. 14 mm. —; *M*, *M'* specchi sferici conc. di raggio *Mc*, *M'c*; *T* tubo destin. a ricev. l'acqua — chiuso ai termini, da lastre di vetro a faccie parall. —; *g* specchio di vetro senz'amalgama; *o* micrometro oculare — ingr. da 10 a 12 volte —; α posiz. del raggio rifl. da *g*, dopo che ha percorso il cammino *a c M c g*, od il simmetrico *a c M' c g*, quando *c* non si muove e rinvia a *g* il raggio nella stessa direz in cui gli è giunto; α' posiz. del raggio riflesso per *M* attraverso all'aria, dipendente dalla rotaz. dello specchio *c* e dalla vel. di propag. della luce nell'aria ; α'' sim per *M* e dipend. quindi anche dal tempo occorr. alla luce per attrav. due volte l'acqua del tubo *T*; *L'* lente dest. a compens. l'effetto deviaz. dei raggi di prod. da *T*.

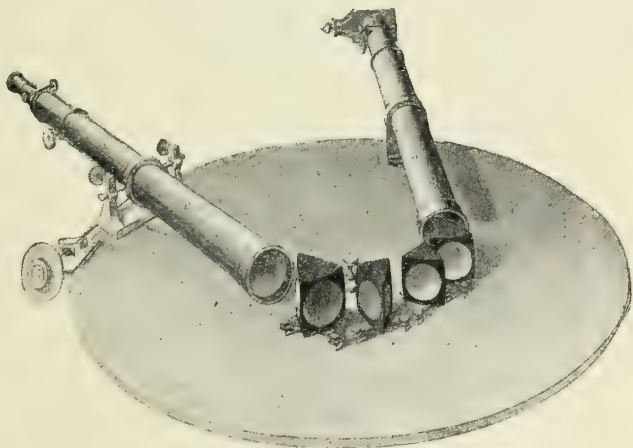
Fig. 2. — *Mira*.

Fig. 3. — Piccola turbina a vapore — anal. alla sirena — recante lo specchio girevole; a destra bottiglia destin. a regolare l'alim. dell'olio lubrificante; a sinistra apparecchio per surriscaldare il vapore d'acqua al fine di farlo giung. secco alla turbina.

(1) « *On the production of Light by Heat* » in *Phil. Mag.* a. 1847, T. XXX, p. 345 a 360.

(2) Si tratta di una comunicazione alla *Société Philomathique* di Parigi, seduta del 20 gennaio 1849 Il processo verbale di quella seduta, per la parte spettante alla comunicazione del Foucault si trova a pag. 44-46 del periodico *L'Institut* T. XVII, a. 1849. Ne togliamo testualmente questo passo, la cui importanza scientifica, dal storico, è veramente grande: « L' arc du charbon, qui est sans contredit le plus facile à manier, fournit à

renza, ma di una portata filosofica immensa, vogliasi in uno studio del Kirchhoff (1). L'uno e l'altro di questi fisici avevano constatato la coincidenza delle righe brillanti del sodio con le nere D dello spettro solare. Par-

Lo spettro solare secondo il Wollaston.
Ripr. dalla fig. 3. Tav. XIV, delle *Phil. Trans.* del 1802; monogr. del Wollaston cit. nel testo, nota 1[a] a pag. 346.

tendo da cotesto fatto, il Kirchhoff — dopo essere giunto col Bunsen a constatare un fatto analogo per il potassio, lo stronzio ed il calcio — era condotto dall'esperienza alla conclusione « che ogni gas incandescente indebolisce, per assorbimento, esclusivamente i raggi dotati della stessa rifrangibilità che esso emette; in altri termini, che lo spettro di ogni gas incandescente deve venire rovesciato » — deve cioè sostituirvisi una riga nera al posto di ciascuna di quelle brillanti — « quando il gas stesso è attraversato da raggi della stessa rifrangibilità emanati da una

Lo spettroscopio del Kirchhoff.
Ripr. della fig. 1 Tav. III delle *Abhandlungen* dell'Acc. delle Sc. di Berlino, a. 1861; mem. orig. del Kirchhoff cit. nel testo, nota 1.[a] a pag. 347.

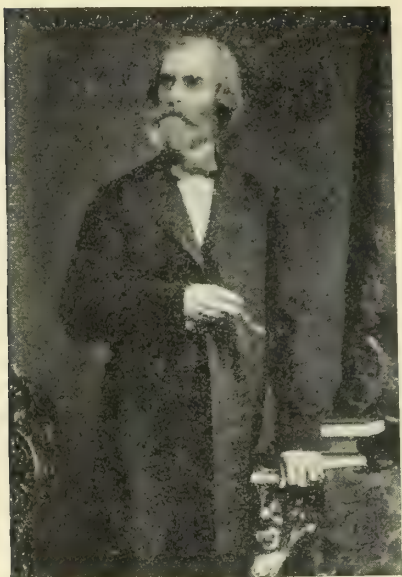
l'analyse prismatique le plus curieux et le plus éblouissant spectacle. Son spectre est sillonné, comme on sait, dans toute son étendue, d'une multitude de raies lumineuses irrégulièrement groupées; mais parmi elles on remarque une ligne double située sur la limite du jaune et de l'orangé. Cette double raie rappelant par sa forme et sa situation la raie D du spectre solaire, j'ai voulu rechercher si elle lui correspondait; à défaut d'instruments pour mesurer les angles j'ai eu recours à un procédé particulier.

« J'ai fait tomber sur l'arc lui même une image solaire formée par une lentille convergente, ce qui m'a permis d'observer à la fois superposés le spectre électrique et le spectre solaire: je me suis assuré de la sorte que la double ligne brillante de l'arc coïncide exactement avec la double ligne noire de la lumière solaire.

« Ce procédé d'investigation m'a fourni matière à quelques observations inattendues. Il m'a d'abord prouvé l'extrême transparence de l'arc qui ne porte à la lumière solaire qu'une ombre légère; il m'a montré que cet arc, placé sur le trajet d'un faisceau de lumière solaire, absorbe les rayons D, en sorte que la dite raie D de la lumière solaire se renforce considérablement quand les deux spectres sont exactement superposés.

« Quand, au contraire, ils débordent l'un sur l'autre, la raie D apparaît plus noire qu'à l'ordinaire dans la lumière solaire et se détache en clair dans le spectre électrique, ce qui fait qu'on juge facilement de leur parfaite coïncidence. Ainsi l'arc nous offre un milieu qui émet pour son propre compte les rayons D, et qui, en même temps, les absorbe lorsque ces rayons viennent d'ailleurs.

« Pour faire l'expérience d'une manière plus décisive encore, j'ai projété sur l'arc l'image réfléchie d'une des pointes incandescentes de charbon qui, comme tous les corps solides en ignition, ne donne pas de raie D et dans ces circonstances la raie D m'est apparue comme dans la lumière solaire ».

(1) « *Untersuchungen*, etc. » già citate, pag. 347, nota 1.[a]

Kirchhoff.
Da fotografia donata dal Kirchhoff al Clausius e cortes. fav. all'a. dalla gentile Signora ved.ª Clausius.

sorgente luminosa bastantemente intensa e che dia per sé stessa uno spettro continuo » (1). Così, ad esempio, se la luce di un corpo solido o liquido incandescente — la quale darebbe per sè uno spettro luminoso continuo — attraversa un'atmosfera di vapori di sodio o di ferro, appaiono nello spettro fornito dal corpo stesso delle righe nere al posto in cui si formerebbero le righe brillanti caratteristiche del sodio o del ferro quando sono allo stato di vapori incandescenti. È il fenomeno che il grande tedesco chiamò *rovesciamento* od *inversione dello spettro.*

Di qui il Kirchhoff deduceva dovere essere il sole un corpo solido o liquido incandescente, avviluppato da un'atmosfera, la cui composizione poteva determinarsi mediante il confronto tra le righe nere dello spettro solare e le righe brillanti degli spettri dei gas e vapori incandescenti. E già in quell'insigne memoria egli pubblicava circa seicentocinquanta misure di righe di parecchi metalli, dalle quali risultavano coincidenti con righe nere quelle dello spettro solare. Per tal modo lo spettroscopio aveva dimostrato fisicamente al Kirchhoff che l'atmosfera solare conteneva vapori di bario, calcio, nichelio, sodio, ferro, stronzio, cobalto, cromo, magnesio, zinco. Diciamo: dimostrato, perchè le probabilità che la coincidenza fosse effetto del caso — prova il Kirchhoff ragionando su sessanta righe del ferro — è, ad esempio, per questo metallo, minore di *uno contro un bilione di bilioni!*

Da quel tempo lo spettroscopio si volse ad interrogare tutti i corpi celesti, e nomi tra i più cospicui nella storia della scienza — quelli del Janssen, del Cornu, del Mascart, del Lockyer, del Secchi, del Donati, del Fizeau, dell'AOngström, del Thalén, dello Zöllner, dell'Huggins, del Tennant, del Rzhia, del Piazzi Smyth, del Vogel, del Liais, dell'Hasselberg, del Riccò e di altri ed altri — sono legati a cotesto grande lavoro scientifico che è nientemeno che l'analisi fisica dell'universo, che ha risolto (2) problemi del maggiore ardi-

(1) *Mem. cit.* precedentemente dalle Memorie di Berlino, 1861.

(2) Ne diamo qualche esempio. Il Janssen, esaminando le righe nere dello spettro solare e le loro differenze secondo che sono osservate nelle basse regioni dell'atmosfera o nelle alte — fece le prime osservazioni del genere sul Faulhorn nel 1864, poi la ripetè sul Monte Bianco ed in molti altri luoghi; fece anche esperienze osservando da Ginevra un fuoco acceso a Nyon, lontano 21 chilometri — stabiliva il potere assorbente dell'atmosfera terrestre, dava il mezzo di riconoscere la esistenza o meno del vapore di acqua nelle atmosfere dei pianeti, riscontrandolo in quelle di Marte e di Saturno. Nell'occasione dell'eclisse totale di sole del 18 agosto 1868 il Janssen stesso a Guntoor, il Rayet a Malacca, Herschel e Tennant pure a Guntoor, il Weisse a Aden squarciavano il mistero delle *protuberanze solari.* Il Janssen, ancora, a Guntoor ed il Lockyer a Londra trovavano il mezzo di osservare le meraviglie sbalorditive di coteste protuberanze con le loro violente eruzioni istantanee, con le loro altezze di centinaia di migliaia di chilometri, in qualunque momento ed indipendentemente dalle eclissi; l'Herschel, l'Huggins, lo Zöllner ed altri perfezionavano il metodo, rendendolo tanto facile e semplice che un illustre astronomo italiano diceva che omai avrebbe potuto far eseguire dalla sua fantesca coteste osservazioni.

Donati, lo Zöllner, il Secchi e cento altri indagavano la costituzione delle stelle; ed il Secchi arrivava a classificarle nei quattro celebri tipi — il primo, delle stelle bianche, a cui appartengono Sirio, Vega, Altair, Regolo,

mento, e di cui il Faye — a proposito del mezzo scoperto separatamente dal Lockyer e dal Janssen per osservare le protuberanze solari all'infuori delle eclissi — diceva con giusta ragione che in esso si è arrivati a « aborder l'intangible et l'invisible par la voie la plus étonnante peut-être que le génie de l'observation ait jamais connue ».

Ed intangibili ed invisibili pure sono i moti delle stelle nella direzione del raggio visuale: anche ad essi è giunto il « genio dell'osservazione ».

Rigel, le stelle dell'Orsa Maggiore eccettuata la α, e circa una metà delle stelle, offrenti un spettro analogo a quello del sole, con quattro striscie nere dell'idrogeno, qualche riga del sodio, del magnesio e del ferro; il secondo a cui appartengono la Capra, Polluce, Arturo, Aldebaran, α dell'Orsa Maggiore, ecc., stelle gialle nel cui numero è forse un terzo delle stelle del cielo, aventi spettro identico a quello del sole per posizione delle righe nere, differente per la loro larghezza; il terzo tipo, α di Ercole, β di Pegaso, Antares, ecc., stelle variabili, dalla tinta traente al rosso od al ranciato, con spettro e striscie nebulose raffiguranti un colonnato, a righe d'assorbimento analoghe a quelle delle macchie solari, stelle differenti dal secondo tipo solo per lo spessore della loro atmosfera, offrenti macchie come il sole, ma molto più estese, avviluppate da uno strato gassoso meno caldo e più assorbente; quarto tipo, piccole stelle di colore rosso, con lo spettro a tre zone principali, gialla, verde, azzurra, contenente scanalature dirette verso il rosso e talvolta delle linee brillanti, stelle ad uno stato di condensazione poco avanzata, in condizioni intermedie tra quelle delle nebulose e quelle delle stelle propriamente dette. Il Donati, primo, esplorava lo spettro di una cometa — la I 1864 —, poi l'Huggins quello della I 1866 e successivamente moltissime altre, tra cui la II 1868 e quella importantissima di Enke nel 1871; e dalle loro e dalle osservazioni posteriori risultava come il nucleo sia luminoso per sè stesso, la coda invece non mandi che luce riflessa, onde potè stabilirsi — per le singolarità del loro spettro — che le comete sono formate da materia gassosa e da particelle solide nuotanti nel gas.

Heidelberg d. 13 Jan. 1859.
R. W. Bunsen

Bunsen.
Da fotogr. don. dal Bunsen ad un suo allievo, il compianto dott. A. Frapolli, già prof. di Chim. alla Soc. d'Incoragg. d'Arti e Mest. in Milano.

William Allen Miller, nel 1863, faceva nell'osservatorio dell' Huggins la prima fotografia di uno spettro stellare, quello di Sirio; e nel 1880 l'Huggins portava la preparazione di cotesto genere di documenti al grado voluto di perfezione. Lo stesso Huggins affrontava nel 1864 lo studio spettrale delle nebulose, che proseguiva poi subito nel 1865 col lavoro insigne su quella di Orione; e grazie agli studi di lui, di lord Rosse e di pochi altri, quegli splendidi ornamenti del cielo, fonte di tanta meditazione al filosofo, di tanto godimento allo scienziato che può contemplarle con l'occhio armato dei potenti telescopi moderni, hanno rivelato all'uomo la costituzione gassosa di quelle non risolvibili — conferma inattesa e d'importanza altissima alle teorie di Laplace e di Herschel che a condensazione graduale di nebulose attribuivano la formazione del sole e delle stelle —, la costituzione con materia già condensata in quelle che il telescopio riesce a risolvere. Il Wright dallo spettro luminoso continuo della *luce zodiacale* poteva argomentare che cotesto pallido bagliore stendentesi la sera da ponente allo zenit, al mattino dal levante, visibile costantemente nelle regioni equatoriali, è luce riflessa. L'AOngström, il Rand Capron, lo Zöllner, il Denza, il Vogel, lord Lindsay, interrogavano le *aurore polari*, e la scoperta delle righe dell'azoto parve risolvere la questione della sede di questo meraviglioso fenomeno, ponendola, come voleva il De la Rive, nelle alte regioni dell'atmosfera.

Del resto solo sullo spettro solare quanta mole di lavori! Dalle osservazioni spettroscopiche del Backe venendo fino a quello del Runge, del Paschen, del Jewell, dello Schuster, mercè le quali nel 1896 si accertava la presenza dell'ossigeno nel sole; dai vecchi lavori del Cornu su lo spettro ultravioletto, ai recenti del Langley su quello calorifico; si passa per una serie innumerevole di lavori, mercè i quali si può dire che l'uomo è arrivato a formarsi in pochi anni delle idee precise su una gran parte della fisica solare. E poichè dalle nebulose siamo stati ricondotti al nostro sistema stellare, aggiungeremo che lo spettroscopio ha potuto rivelare

L'idea prima è del Doppler, che riteneva dovessero cotesti moti produrre alterazione di colore nelle stelle, come il fischio della locomotiva sembra, ove essa si avvicini all'osservatore, più acuto di quando questi viaggia con essa, più grave ove si allontani. Però l'idea del Doppler non avrebbe portato alcun risultato, ove non fosse stato il genio del Fizeau, colui sul quale ancora giovanissimo aveva pronosticato l'Arago: «Fizeau nous rendra Fresnel», e che il Cornu, nel discorso funebre pronunciato in nome dell'*Académie des Sciences* e del *Bureau des Longitudes* (1) ben a ragione diceva « un de ces esprits vigoureux et profonds qui, dans ce siècle, pourtant si fertile en savants de premier ordre, ont donné la plus haute idée de la puissance de la Science ».

Lo spettroscopio di Bunsen e Kirchhoff.

Ripr. della fig. 1, Tav. VI degli *Ann. del Pogg.* T. CX. a 1860; monog. orig. dei due scienz. ted. citata nel testo, n. 1ª pag. 348.

A lui le ondulazioni della luce avevano fornito, diremo ancora col Cornu « aussi bien la dilatation d'un mince cristal (2) que la vitesse radiale des étoiles separées de nous par des millions de fois la distance du Soleil ».

Il Fizeau, infatti, riusciva (3) a cotesto miracolo stabilendo che l'allontanarsi o

all'uomo o la certezza o la grande probabilità di fatti riguardanti le atmosfere dei pianeti. Mercurio probabilmente è avvolto in un oceano aereo. Certo Venere ha un'atmosfera, probabilmente più pura e trasparente della terrestre « ciò che dovrebbe produrre » — nota il Celoria — « sopra esso un cielo assai meno e più di rado corrucciato del nostro ». E come di Mercurio e di Venere lo spettroscopio ha dato molte particolarità costitutive per gli altri pianeti, e dei più lontani, Urano e Nettuno, ha potuto indicare, come molto probabile, conformità di costituzione fisica.

In cotesti studi spettroscopici di astrofisica — diremo da ultimo — la parte avuta dalla scienza italiana è veramente degna di nota. Ne forniscono la prova più bella le *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*. In quei volumi, fino dai primi — a. 1872 e seg. — si trovano infatti lavori di importanza capitale: basti ricordare quelli del Secchi, del Tacchini, del Lorenzoni, del Cacciatore, ecc. relativi alla fisica solare.

Lo Spettroscopio stellare del P. Secchi.

Legg. espl. — *P... P''* prisma *a visione di retta* — cioè che decomp. i raggi senza che il fascio lum. devii dalla sua direz. — situato al fondo del telescopio; *O* oculare. I raggi, uscendo dall'obiettivo — mancante nella figura — cad. sul prisma, poi su una lente cilindr. il cui asse è parall. agli spig. del prisma: si ha così al fuoco dell'obb. uno spettro lineare della stella, che viene osserv. con un ocul. ordinario. Si poss. così ved. le lin. spettr. delle stelle fino all'8ª grandezza.

(1) 24 settembre 1896.

(2) V. pag. 184 a 186.

(3) Veggasi la bella monog. del Cornu « *Sur la méthode Doppler-Fizeau* » mem. D 1-40 in *Annuaire du Bur. d. Long.*, a. 1891. Ne togliamo i seguenti brani che, mentre dànno una idea chiara del metodo, dicono quale parte di merito spetti a ciascuno dei due fisici:

« Cette méthode repose sur deux principes distincts: le premier, nommé principe de Doppler, découvert en 1842, est un théorème de Cinématique exprimant la variation apparente de la période d'une source vibra-

l'avvicinarsi della stella — rispetto all'osservatore — nel senso della visuale doveva portare uno spostamento in un senso, — o nell'opposto — delle righe spettrali. Ed il metodo, per la precisione conseguita nella misura di cotesti spostamenti, è talmente sicuro, che, allo scienziato addestratovi, siffatta determinazione di velocità di un movimento che l'occhio non può in alcun modo avvertire riesciva, già fino dai primi tempi, più semplice che non sia quella

toire en mouvement; le second est un principe optique qui fonde la mesure précise de cette variation apparente de période d'une onde lumineuse sur la variation de réfrangibilité; il a été énoncé en 1848 par M. Fizeau...

Principe de Doppler. — La première idée de l'influence de mouvement relatif d'une source sonore ou lumineuse sur le son ou la lumière perçus par un observateur appartient au mathématicien physicien Christian Doppler (né à Salzbourg en 1803, mort à Venise en 1853); elle a été développée dans un Mémoire célèbre (*Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres astres*), publié en 1842 dans les Mémoires de la Société Royale des Sciences de Bohême. On peut l'exposer ainsi qu' il suit; considérons une source fixe d'ondulations dont les pulsations se propagent avec une certaine vitesse; un observateur, également fixe, recevra un nombre de pulsations égal à celui qu'émet la source dans le même temps; ce nombre caractérise la hauteur du son si la source vibrante est sonore; la couleur de la lumière, si elle est lumineuse.

Supposons maintenant l'observateur en mouvement, par exemple s'éloignant de la source, c'est-à-dire marchant dans la même sens que la propagation des ondes; celui-ci recevra dans l'unité de temps un nombre moindre de pulsations que la source n'en émet, puisqu' il marche dans le même sens que les ondulations; il n'en recevrait même aucune si il marchait avec la même vitesse qu'elles. D'où il résulte que l'observateur, en s'éloignant de la source, percevra un son plus grave que celui de la source, car l'échelle des sons, de l'aigue au grave, est caractérisée par la diminution du nombre de vibrations dans l'unité de temps; dans le cas d'une source lumineuse blanche, l' observateur percevra une lumière plus rouge, la gamme des couleurs spectrales du violet au rouge correspondant à celle des sons de l'aigu au grave.

Inversement, si l'observateur se rapproche de la source, c'est-à-dire marche à la rencontre des ondes émises, le nombre des pulsations perçues dans l'unité de temps sera plus grand; le son paraîtra donc plus aigu, ou la lumière blanche plus violette.

Nous avons supposé la source vibrante au repos et l'observateur mobile: les mêmes raisonnements conduiraient à des conclusions analogues si la source était mobile, s'éloignant ou s'approchant de l'observateur au repos; il en résulte évidemment que est le mouvement relatif seul qui joue le rôle décisif, ce qui permet, pour simplifier les raisonnements ou les calcul, de supposer toujours l'observateur fixe et la source en mouvement...

Doppler n' apporte aucune vérification experimentale de sa théorie; il se borne à invoquer l'existence de ces colorations complémentaires que presentent quelques étoiles doubles; c'est pour lui la preuve irrécusable de deux vitesses en sens opposés. Il cite encore les variations de couleurs qu' ont subies certaines étoiles et qu' il n'hésite pas à attribure à la variation de vitesse de ces astres.

Tout le monde ne fut pas de son avis. En particulier, un physicien hollandais, Buys-Ballot...

L'idée de Doppler, tout ingénieuse qu' elle fût, n'avait, dans le domaine de l' Optique astronomique, qu'une valeur purement spéculative, puisque le genre d'observations proposé par l'auteur pour constater le mouvement des sources lumineuses ne pouvait donner que des résultats insaisissables si non rigoureusement nuls.

C'est qu'en effet le phénomène auquel correspond en Optique la conception de Doppler est infiniment plus délicat que l'auteur ne l'avaït pensé...

Principe de M. Fizeau. — Tel était l'état de la question lorsque M. Fizeau lut à la Société philomathique, dans la séance du 23 décembre 1848, un Memoire où étaient exposés les effets du mouvement sur le ton des vibrations sonores et sur la longueur d'onde des rayons lumineux.

Voici quelques extraits da Bulletin de cette Société:

Si un corps sonore, émettant un son continu et identique, se meut avec une vitesse comparable à celle du son, les ondes sonores ne seront pas symétriquement disposées autour du corps sonore comme cela a lieu lorsqu' il est au repos; mais elles seront plus rapprochées les unes des autres dans la région vers laquelle aura lieu le mouvement et plus éloignées dans la région opposée; pour un observateur placé en avant ou en arrière du corps sonore, le son sera donc différent, plus aigu dans la première position, plus grave dans la seconde.

C'est, on le voit; exactement le point de départ de Doppler...

Voici maintenant le point capital où a été franchi le grand pas qui sépare l'assimilation vague de la lumière avec le son et l'indication précise du phénomène auquel correspond le mouvement de la source:

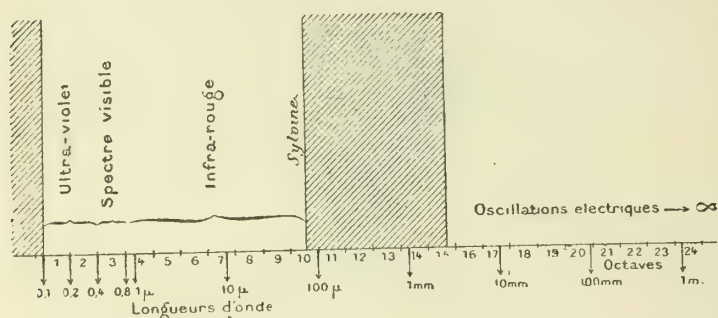
Un mouvement très rapide et comparable à la vitesse de la lumière, attribué au corps lumineux ou à l'observateur, aura pour effèt d'altérer la longueur d'ondulation de tous les rayons simples qui composent la lumière, reçue dans la direction du mouvement. Cette longueur sera augmentée ou diminuée suivant le sens du mouvement. Considéré dans le spectre, cet effet se traduira par un déplacement des raies correspondant au changement de la longueur d'ondulation...

Voilà, la nouvelle méthode constituée: on n'y a rien changé depuis. Au lieu de ces variations, inadmissibles à tous les points de vue, d'intensité ou de couleur invoquées par Doppler, c'est un changemen apparent de réfrangibilité, un déplacement de raies dans le spectre, qu' on doit observer, phénomène net, mesurable, avec la plus grande précision.

Et ce déplacement est loin d'etre négligeable; les astronomes en mesurent couramment de bien plus petits encore ».

dell' altezza di un monte con la osservazione barometrica. Valga d'esempio la memoria dell'Huggins del 1872 (1).

Prima che si lasci l'argomento degli spettri luminosi sarà ad accennarsi ancora alle trasformazioni che possono subire le radiazioni, e ad altri fatti relativi allo spettro solare.

Già fu detto come l'Herschel ed il Wollaston avessero mostrato che le radiazioni del sole si estendono molto prima del rosso — *spettro infrarosso* — e molto al di là del violetto — *spettro ultravioletto* —. Si ha dunque una scala — dalle scoperte ulteriori fatta estesissima — di radiazioni, le quali, dalle onde più lunghe che cominciano assai prima di quelle corrispondenti al rosso più cupo — misurate dall'americano Langley sui monti della California, dal Rubens e da altri — passano gradatamente alle più brevi, alla estremità opposta, molto al di là dell'estremo violetto.

Lo spettro delle radiazioni secondo lo stato della scienza alla fine del secolo XIX.

Mem. di Ch. Ed. Guillaume in *Revue Gén. d. Sc.*, a. 1899, p. 5.

E mentre le estreme producono o solo un effetto calorifico o solo un effetto chimico, le intermedie li dànno — in grado diverso — entrambi, associati all'effetto principale che è quello di impressionare l'occhio.

Scoperta importante — in cotesto ordine di fenomeni, a cui si legano le meraviglie della fosforescenza nei regni vegetale ed animale — fu quella della trasformabilità di cotesti raggi, quale si può ottenere con le sostanze *fosforescenti*, e le *fluorescenti*, che, impiegando, o no, un tempo apprezzabile, assorbono i raggi oscuri ultravioletti, diventano — più o meno, e con maggiore o minore rapidità — luminose, e continuano ad esserlo — ancora qui più, o meno, a lungo — anche cessato il flusso che le ha colpite, emettendo per conseguenza dei raggi di cui la luminosità dice che sono, nella nuova forma, meno rifrangibili che nella primitiva. Lavori classici su cote-

(1) « *On the motion of some Stars toward or from the Earth* » in *Proc. of the R. Soc. of London*, a. 1871-72; T. XX, p. 386 a 394, letta il 13 giugno 1872. In essa l'illustre scienziato inglese, prende le mosse dal ricordare una comunicazione fatta al principio del 1868 riguardante piccoli cambiamenti di rifrangibilità di una riga dello spettro di Sirio confrontata con una dell'idrogeno, e finisce con un elenco di stelle che si allontanano dal sole, indicando per molte la velocità, che dobbiamo ritenere sia espressa in miglia inglesi. — Sirio 18 a 22; Betelgeuse, 22; Rigel, 15; Castore 23 a 28; Regolo 12 a 17; β, γ, δ, ε, ζ dell' Orsa Maggiore, 17 a 21; β, δ del Leone; η dell'Orsa Maggiore; α della Vergine; α della Corona Boreale; Procione, Capella, Aldebaran (?); γ di Cassiopea — e con un altro di stelle che invece si avvicinano — Arturo, 55; Vega, 44 a 54; α del Cigno, 39; Polluce, 49; α dell'Orsa Maggiore, 46 a 60; γ del Leone, ε di Boote, γ del Cigno, α di Pegaso, α di Andromeda. — Le righe dell'idrogeno, del magnesio, del sodio coi loro microscopici spostamenti, ecco il filo microscopico che ha potuto rivelare fatti tanto imponenti, come sono cotesti moti vertiginosi di masse smisurate, per gli sconfinati abissi del cielo. Avrebbe mai l'occhio sospettato che Sirio fugga da noi; che dell'Orsa una stella — la più settentrionale delle *ruote* del carro — si avvicini a noi percorrendo in un secondo uno spazio uguale a quello che un treno direttissimo compie in un'ora, mentre le altre stelle brillanti della costellazione se ne allontanano; che di Castore e Polluce, dei quali l'occhio si piace nel formare un gruppo, la distanza reciproca cresca in ragione di oltre cento chilometri al secondo?

sto argomento faceva nell'anno 1857 e seguenti Edmondo Becquerel (1), ed avevano fatto prima l'Herschel (2), il Brewster (3) e lo Stokes (4). Di quest'ultimi, l'Herschel aveva scoperto come un liquido perfettamente incoloro e trasparente — soluzione di solfato di chinina in acido tartrico diluito — osservato in condizioni speciali — disponendolo in un lungo tubo stretto verticale, collocato, su fondo nero, davanti ad una finestra fortemente illuminata, curando che sia eliminata ogni illuminazione laterale, e guardando dall'alto — offrisse alla superficie una viva tinta — è elegantissima — cilestre azzurra, che appariva proveniente dagli strati superficiali; come uno strato esilissimo di siffatto liquido sparso su le pareti di un tubo di vetro presentasse pure il medesimo fenomeno di colorazione così da rendere difficile il pensare che si trattasse di sostanza incolora; ed aveva dato al fenomeno il nome di *diffusione epipolica*, o superficiale, formulando poi, in base a molte e svariate esperienze, la legge — importantissima dal punto di vista della teoria — che un fascio di luce epipolizzata non poteva provare ulteriore diffusione epipolica. Il Brewster aveva preso in esame il fatto — osservato dall'Herschel nella fluorite verde di Alston Moor, analogo ad altri già constatati dall'Haüy e da diversi altri mineralogisti in certi esemplari pure di fluorite, particolarmente in quelli del Derbyshire — che cotesti cristalli pre-

Cornu.
Da fotog. cortes. fav. dal sig. comm. E. Sartiaux.

(1) « *Recherches sur div. effet lum. qui rèsultent de l'action de la lum. sur les corps* ».
Quattro memorie, presentate all'*Ac. d. Sc.* rispettivamente il 16 nov. 1857, il 24 maggio 1858, il 4 luglio 1859, ed il 10 dic. 1860. Sono pubblicate integralmente in *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1859, T. LV, p. 5 a 123 a. 1859 ancora, T. LVII, p. 40 a 124; a. 1861, T. LXII, p. 5 a 100.
Il Becquerel, per altro, aveva già trattato l'argomento della fosforescenza in parecchi lavori, che sono pubblicati in *Bibl. Univ.* di Ginevra, ag. 1842, pag. 341 a 367. (*Const. du spectre solaire*); *Ann. de Ch. et de Phys* a. 1843, T. IX, pag. 257 a 322 (*Des effets prod. sur les corps par les ray. sol.*, pag. 314. *De la phosph.*); stessi *Annali*, a. 1848, T. XXII, p. 244 a 255 (*Note sur la phosph. prod. par insolation*). Lo stesso Becquerel, nella Memoria del 16 nov. 1857, cita anche un lavoro pubblicato negli *Archives du Museum de Paris*, 1839, che però non abbiamo potuto vedere.

(2) « Αμόρφωτα, N.° I — *On a Case of Superficial Colour presented by a omogeneus liquid internally colourless* » e « Αμόρφωτα N.° II — *On the Epipòlic Dispersion of Light, being a Supplement to a paper entitled: On a Case etc.* ». Entrambe in *Phil. Trans.* a. 1845 pag. 143 a 145 e 147 a 153 risp. La seconda Mem. ha una nota addizionale in cui l'Herschel dice avere ricevuto dal Graham un campione « di un alcaloide estratto dalla corteccia bruna della corteccia di castagna a cui fu dato nome di *esculina*, e che possiede in grado perfetto la proprietà della dispersione epipolica ove sia in soluzione diluita, nel quale stato rassomiglia completamente alla chinina » aggiungendo che il Graham lo informava come anche « un certo olio detto *Colofene*, ottenuto trattando convenientemente con acido solforico un olio di terebenteno, può essere un liquido epipolizzante avente un carattere analogo ».

(3) « *On the Decomposition and Dispersion of Light within Solid and fluid Bodies* » Mem. letta alla *R. S.* di Edimburgo, nel 1846 e pubbl. nel T. XIV delle *Trans.* di quell'Accademia, nonchè nel *Phil. Mag.* del giugno 1848.

(4) « *On the Change of Refrangibility of Light.* » Due memorie col medesimo titolo, entrambe in *Phil. Trans.* rispettivamente a. 1852 pag. 463 a 562, ed a. 1853 pag. 385 a 396.

sentano una tinta superficiale bluastra, ed era arrivato a stabilire come parecchie sostanze — certi vetri colorati, e certe soluzioni alcooliche di succhi vegetali — presentassero una colorazione diversa secondo che se ne riceveva la luce per trasparenza o per riflessione. E lo Stokes, dei fatti stabiliti dall'Herschel e dal Brewster — nei quali i fisici non avevano veduto che proprietà ottiche speciali per una od altra sostanza — trovava la ragione vera, stabilendo — con una serie numerosa di esperienze, istituite con metodi svariati — come si trattasse di una vera trasformazione di raggi chimici invisibili, in altri corrispondenti a maggiore lunghezza d'onda — tale questa che i raggi stessi divenissero visibili. — Egli contribuiva così in un modo molto efficace a schiudere alla filosofia naturale quel nuovo orizzonte, sul quale andava sorgendo, astro luminosissimo, il concetto della unicità di natura delle radiazioni disparatissime; concetto, che l'Ampère — contraddetto da uomini pure eminenti — aveva stabilito — *Ann. de Ch. et de Phys.* a 1835, T. LVIII, p. 432 — molto nettamente per quelli luminosi e per quelli calorifici, differenti, nel suo concetto, solo appunto per la lunghezza dell'onda.

Il Becquerel poi faceva della fosforescenza e della fluorescenza — nome introdotto dallo Stokes — uno studio sistematico (1) amplissimo e profondo, ideando a ciò tutta una categoria di strumenti, da lui designati sotto il nome di *fosforoscopi*; arrivando alla conclusione che fosforescenza e fluorescenza « ne diffèrent que par le temps pendant lequel l'impression de la lumiére peut se conserver »; che la durata dell'emissione della luce di fosforescenza può variare da meno che $\frac{1}{5000}$ di minuto secondo, a parecchie ore: che la quantità della luce emessa è — in misura diversa — proporzionale a quella della incidente ed è sempre più debole di questa (2); risolvendo

(1) In cotesto studio sistematico il Becquerel prendeva dapprima in esame la fosforescenza per insolazione di diverse sostanze ed in modo speciale dei solfuri fosforescenti — di calcio, bario, stronzio — ed il colore della luce emessa alla temperatura ordinaria; poi l'azione della luce sui corpi fosforescenti — azione dei raggi di diversa rinfrangibilità su le sostanze fosforescenti alla temperatura ordinaria; durata degli effetti di fosforescenza, pure alla temperatura ordinaria; azione della luce elettrica su le sostanze fosforescenti, impiegandovi anche tubi ad aria rarefatta contenenti coteste sostanze; intensità e composizione della luce, emessa dai corpi fosforescenti a temperature differenti; effetti diversi presentati dalle sostanze fosforescenti —; in seguito e molto più estesamente la composizione della luce emessa da « molte categorie di corpi fosforescenti » — allumina e sue composizioni; diamante; composti a base di calcio; composti a basi alcaline e terrose, come potassa, soda, barite, stronziana, magnesia, ecc.; sali d'uranio; platino-cianuri; carburi d'idrogeno; liquidi e gas diversi — nonchè gli effetti chimici, fosforogenici, e calorifici prodotti dall'azione dei raggi emanati da differenti corpi; da ultimo — nella quarta delle monografie classiche — la intensità della luce emessa dipendentemente da quella incidente; la velocità « di disperdimento » della luce emessa da un corpo in virtù della sua azione propria e dopo insolazione, per emissioni di durata, sia brevissima — inferiore ad un minuto secondo — sia lunga — maggiore di un secondo —, nonchè il potere emissivo e la capacità dei differenti corpi per la luce, gli effetti presentati dai « fosfori artificiali » — solfuri alcalino-terrosi —, e la intensità della luce emessa secondo la temperatura e lo stato molecolare dei corpi. Come si vede, Edmondo Becquerel ha lasciato in coteste monografie uno studio veramente largo e profondo dell'argomento.

(2) Nei lavori del grande fisico francese si trovano delle osservazioni molto interessanti riguardo alla delicatezza a cui può giungere la percezione visiva. Valga l'esempio seguente che togliamo dalla quarta delle memorie cui si accenna sopra, a pag. 97 e 98 del T. LXII, a. 1861 degli *Ann. de Ch. et. de Phys.*:

« Les résultats des expériences faites avec les corps qui émettent pendant trés-longtemps de la lumière dans l'obscurité, permettent de montrer de quelle merveilleuse faculté l'organe de la vision est doué et quel est le peu d'intensité des plus faibles lueurs qu'il puisse comparer et de celles qu'il peut distinguer. Si l'on prend comme terme de comparaison l'intensité de la lumière solaire quand cet astre est le plus élevé sur l'horizon à l'époque du solstice d'été et que le ciel est pur, on trouve alors que le sulfure de strontium lumineux vert, rentré subitement dans l'obscurité après avoir été insolé, émet des rayons lumineux de moins en moins intenses et qui peuvent encore être comparés à une lumière artificielle après, $1^h\ 30^m$; au bout de ce

problemi del più alto interesse scientifico riguardanti la composizione di coteste luci, le variazioni nelle loro tinte, e la velocità della dispersione; facendo fare, in una parola, un passo enorme allo studio delle radiazioni.

Su cotesto argomento dovremmo certo ricordare una moltitudine di lavori aventi scopo ed indirizzo svariatissimi, dai vecchi studi del Pearseall, preparatore alla *Roy. Inst.* di Londra, — « Sugli effetti prodotti dall'elettricità sui minerali che il calore rende fosforescenti » (1) — e del Matteucci — « Su la fosforescenza eccitata dalla luce solare, dalla scintilla elettrica e dalle fiamme del fosforo, del potassio e del sodio » (2); lettera al Dumas « Su la fosforescenza delle lucciole » (3); e « Su la materia fosforescente dei pesci e su la fosforescenza del mare » (4) — ai recenti del Villari su la fluorescenza e la fosforescenza eccitate mediante la luce del magnesio (5), di Klatt e Lenard su la fosforescenza del rame, del bismuto e del manganese nei solfati alcalino-terrosi (6), di Augusto e Luigi Lumière su la influenza che le temperature molto basse esercitano sulla fosforescenza (7), ed ai cento e cento altri che hanno fatto dello studio di cotesti fenomeni una branca importante e vasta della fisica, dalla quale col Tesla (8), col Röntgen (9),

temps, l'intensité des rayons émis est à celle des rayons solaires incidents, à surface égale, comme 1 est a 10^{11}. » — ossia 100.000.000.000 di volte più piccola — « Passé ce terme, les comparaisons directes deviennent impossibles, mais on continue encore à percevoir de la lumière pendant plus d'un jour, bien que pendant cet intervalle de temps l'intensité des rayons émis par le corps insoléa it été toujours en diminuant. On peut néanmoins évaluer approximativement la faible intensité des rayons émis; si l'on suppose que les rayons solaires soient atténués de façon à ne plus avoir que la millionième partie de leur intensité première, dans cet état ils seraient 10 millions de fois plus intenses que les lueurs qui sont encore distinctes après un séjour de 30 heures du sulfure de strontium dans l'obscurité; l'intensité est alors à celle de la lumière solaire primitive comme $1 : 10^{13}$ » — ossia 10.000.000.000.000 di volte più debole — « Le corps reste encore lumineux après ce temps, mais il est impossible de pouvoir suivre d'une manière certaine les changements qu'il présente ulterieurement.

Ces résultats montrent combien on peut aller loin dans l'étude de la lumière émise par les corps, même lorsque les effets sont très faibles, et entre quelles limites éloignées l'organe de la vision est impressionable et peut comparer les effets qu'il perçoit ».

(1) In *Journal of the Royal Institution*, tradotto e riportato integralmente in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1832, T. XLIX, p. 337 a 369.

(2) *Bibl. Univ.* di Ginevra a. 1842, T. XL della nuova serie, p. 159 a 172.

(3) *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1843, T. IX, pag. 71 a 89.

(4) *Ibid.*, a. 1848, T. XXIV, pag 358 a 360.

(5) *Nuovo Cimento*, a. 1891, T. XXIX, p. 36. Tra le osservazioni del Villari ve ne sono di veramente interessanti. Così sono di lui le osservazioni che ponendo un vetro azzurro davanti alla lampada al magnesio la fluorescenza è molto più brillante; che la luce che ha attraversato uno strato di 3 a 4 centimetri di soluzione di curcuma o di clorifilla è inattiva su la soluzione di solfato di chinina e sul vetro d'uranio, ma è attiva su altre; che invece la luce che ha attraversato uno strato sia pure di 7 cm. di solfato di chinina è attiva su tutte le sostanze.

(6) *Wied Ann.* T. XXXVIII, p 90 a 107.

(7) *Comptes Rendus* a. 1889, I sem. T. CXXVIII, p. 549.

(8) Le celebri esperienze del Tesla sugli effetti delle correnti elettriche ad altissimo potenziale e ad altissima frequenza — esperienze veramente magiche — furono fatte la prima volta il 20 maggio 1891 all'*American Institute of Electrical Engineers*, nella riunione tenuta al *Columbia College*, e ripetute poi a Londra il 3 febbraio 1892 nella sede della *Royal Institution* per invito dell'*Inst. of Electr. Engin.*, a Parigi il 19 immediatamente successivo davanti alla *Soc. de Phys.* ed alla *Soc. Int. des Électriciens* riunite. Il lettore potrà trovare integralmente la comunicazione nel *Journ. of the Inst of Electr.Engin.* di Londra, a. 1892, T. XXI, N.° 97 p. 51 a 162, e nella *Lumière Électrique*, a. 1892, T. XLI, p. 290 a 296, 330 a 334, 389 a 394, 430 a 434, 486 a 492, 544 a 546.

(9) « *Eine neue Art von Strahlen* ». Cotesta classica memoria del Röntgen, pubblicata originariamente in *Sitzungsberichte der Würzburger physik. medic. Gesell.* del dicembre 1895 e marzo 1896 fu immediatamente riportata per esteso in tutti i principali periodici scientifici, e se ne fecero edizioni speciali in tutte le lingue del mondo civile. Tra le buone versioni citiamo quella francese del Raveau pubbl. nel *Journ. de Phys.* del 1896 pag. 101 a 108 per la prima parte, e 189 a 193 per il rimanente.

con Enrico Becquerel (1), col Curie, mad. Curie ed il Bémont (2), dovevano scaturire le magie dei tubi a gas rarefatti fosforescenti nel campo elettrostatico, e le scoperte straordinariamente feconde ed importanti dei *raggi X*, dei *raggi uranici* e del *radio.*

Ma non ci è possibile cotesta esposizione particolareggiata, e solo faremo eccezione per quello del Soret (3) e per un altro di Edmondo Becquerel (4). Il fisico ginevrino ideava di sostituire alla lastra fotografica, nello studio dei raggi invisibili ultravioletti e delle loro righe nere una lamina od un velo liquido fluorescente munendone l'oculare di uno spettroscopio: egli rendeva così — con precisione minore, ma con maggiore semplicità e speditezza — lo studio dello spettro ultravioletto analogo a quello dello spettro luminoso. Ed il fisico parigino, che fino dal 1848 (5) aveva mostrato come « des rayons qui n'ont aucune action sur la rétine peuvent agir sur les mathières phosphorescentes pour détruire l'excitation produite sur elles par les rayons bleus ou violets », applicava cotesto modo di esplorazione alla ricerca delle righe fredde dello spettro infrarosso, indicando anche una sostanza speciale — la blenda esagonale del Sainte Claire Deville, ottenuta fosforescente dal Sidot — come singolarmente atta a cotesto scopo (6).

Anelli offerti dalla luce polarizzata attrav. una lam. di cristallo ad un asse.

Legg. espl. — Si osserv. molto facilm. usando una pinza a tormaline, e sono vivamente color. come gli *anelli di Newton :* se le tormal. hanno gli assi paralleli tra loro, gli anelli sono attrav. da una croce nera; se perpend., i col. degli anelli sono quelli complementari, e la croce è bianca.

Chiuderemo coteste rapidissime note su le radiazioni col richiamare la attenzione sul progresso realizzato negli studi relativi durante il secolo XIX. Al principio del secolo non era noto che lo spettro luminoso: alla fine, il Guillaume poteva tracciare un quadro dell'insieme dello spettro delle radiazioni, nel quale, — V. pag. 358 — lo spazio occupato dallo spettro visibile è una parte veramente minima.

In esso figura tutta la serie estesissima delle radiazioni ultraviolette, figura

(1) Diverse note nei *Comptes Rendus* del 1896, T. CXXII, pag. 420, 501, 689, 762, 1086, e, stesso anno, T. CXXIII, pag. 855.

(2) « *Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende* », in *Comptes Rendus,* a. 1898, T. CXXVII, p. 1215 a 1217. La storia particolareggiata della scoperta del *radio* e di altri elementi trovati durante lo stesso ordine di ricerche — il *polonio* e l' *attinio* — è esposta anche nella tesi presentata dalla signora Slodowska Curie alla *Faculté des Sciencs* di Parigi. Ha per titolo *Recherches sur les substances radioactives*: ne venne pubblicata una seconda edizione, riveduta e corretta, dal Gauthier-Villars di Parigi nel 1904.

(3) « *Spectroscope à oculaire fluorescent* », *in Arch. des Sc. Phys. et Nat.,* a. 1874. p. 338 a 343.

(4) « *Sur l'observ. de la partie infra-rouge du spectre solaire au moyen des effets de phosphorèscence* », Mem. letta all'*Ac. des Sc.* il 24 luglio 1876, rip. integr. in *Journ. de Phys.,* a. 1877, p. 137 a 144.

(5) *Comptes Rendus,* T. LXXVII, p, 302

(6) Il metodo del Becquerel, perfezionato, venne poi applicato con risultati notevolissimi dal Draper — — *Phil. Mag.,* 1881, T. XI, p. 160 — dal Lommel — *Wied. Ann.,* a. 1890, T. XL, p. 681, — dal Fomm — «*Dissertation*. . . ». München, 1890, ecc. Noteremo poi, giacchè ce ne viene offerta la opportunità, come per lo studio dello spettro infrarosso, la fisica abbia oggi, per riconoscere la intensità e disposizione dei raggi calorifici dello spettro, oltre al *bolometro* — di cui si disse a pag. 207 — il *radiometro* del Crookes coi perfezionamenti del Pringsheim — *Wied. Ann.* a. 1883, T. XVIII, p. 1 — e del Nichols — stessi *Ann.,* a. 1897 T. LX, p 401 — il *radiomicrometro* del Boys — *Proc. R. Soc.* di Londra, T. XLII, p. 189, a. 1887 — ; e finalmente la pila termoelettrica segnatamente coi perfezionamenti del Rubens — *Zeitschr. für Instrumentenkunde,* 1898, T VI, p. 65 —. Col bolometro è avvertibile il milionesimo di grado; con la pila termo-elettrica il Rubens arrivò al medesimo risultato; col radiomicrometro si può rendere sensibile l'irraggiamento di una candela a 2,8 km di distanza, ed il Paschen — *Wied. Ann.,* a. 1893, T. XLVIII, p. 277 — conseguì una sensibilità ancora più grande!

tutta la serie estesissima delle radiazioni infrarosse; ed esse e le luminose intermedie costituiscono una cosa sola: è una fusione che rappresenta una grande conquista del pensiero. Ma essa non è tutto. In quello spettro, dopo una lacuna che segue l'estremo dell'infrarosso, ai raggi ultimi dati dalla dispersione della silvina, comincia una nuova serie che si estende ai raggi di onde rispetto alla cui lunghezza sono impercettibili le più lunghe dei raggi calorifici oscuri: è quella delle onde elettromagnetiche.

Poche scoperte nel campo della filosofia naturale possono paragonarsi per altezza di significato a quelle che hanno permesso all'illustre scienziato francese di completare lo spettro delle radiazioni con quella sezione novissima.

III.

La teoria delle ondulazioni. Interferenze. Diffrazione.

Doppia rifrazione. Polarizzazione.

I fatti testè ricordati della spettroscopia trovano la loro spiegazione completa e sicura nella teoria delle ondulazioni, della quale già fu data una esposizione sommaria, quale poteva essere consentita dall'indole di queste pagine (1).

Senza ritornarvi, dobbiamo però tracciare almeno — sia pure molto succintamente — la storia della scoperta e dello studio di fatti che, di quella teorica, sono fondamento, e costituiscono una tra le branche più importanti — anche per l'applicazione — dell'ottica sia matematica che sperimentale.

Sono i fatti relativi alla propagazione della luce quando i raggi ne interferiscono, od incontrano sia il lembo sottile dei corpi, sia delle sostanze dotate della proprietà di bipartirne i raggi — o birifrangerla — e polarizzarla.

1 2 3

Gli anelli off. dalla luce polarizz. nei cristalli a due assi.

Legg. espl. — Si poss. osserv. come quelli dei crist. ad un asse. — Fig. 1 caso degli assi delle torm. paralleli tra loro; fig. 2 caso in cui una delle torm. ha ruotato, nel suo piano, di una ventina di gradi; fig. 3 caso in cui la rotaz. ha ragg. i 45°. Se agli assi delle torm. sono perp. tra loro, i col. dagli anelli sono complem., e croce e pennacchi sono bianchi.

È il campo degli studi che ha tanto — e meritamente — contribuito a rendere gloriosi i nomi, ed immortale l'opera, del Young, del Brewster, del Wollaston, e segnatamente i nomi e l'opera del Biot (2), del

(1) Introduzione, pag. 37 e seg.

(2) I lavori del Biot sono, crediamo, tutti — o integralmente, o testualmente per le parti sostanziali, od anche in ampio riassunto — negli *Annales de Chimie* e negli *Ann. de Ch. et de Phys.* Ne diamo l'elenco in ordine crononologico, avvertendo che le indicazioni bibliografiche — salvo che per i primi due — si riferiscono appunto agli *Ann. de Ch. et de Phys.* Ecco l'elenco senz'altro:

« *Sur un mode particulier de polarisation qui s'observe dans la tourmaline* ». *Ann. de Ch.*, a. 1815, T. XCIV, p. 191 a 199.

« *Déterm. des lois suiv. lesquelles la lum. se polarise à la surf. des métaux* ». Estr. di mem. letta all'*Institut* il 15 maggio 1815; ibid., p. 209 a 219.

« *Déterm. exp. de la diffr. qu' éprouve la lum. simple ou comp. lorsqu'elle passe entre deux biseaux parall.*, » in comune col Pouillet. Riass. dall'Arago in T. I, a. 1816, p. 310 a 312.

Fresnel (1), dell'Arago (2) — come quello degli studi sul calore ha fatto per il nome del Fourier —.

Già Tommaso Young aveva introdotto nella scienza il concetto fondamentale delle interferenze luminose, condottovi dai battimenti del suono, prima ancora che l'esperienza gliene avesse dato la prova sensibile (3). È

« *Nouv. exp. sur le developp. des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des crist.* », a. 1816, T. III, p. 386 a 394.

« *Sur l'util. des lois de la pol. de la lum. pour manifester l'exist. et la nat. des syst. cristall ns* », a. 1818, T. VIII, p. 438 a 440.

« *Mém. sur les Rotations que cert. subst. impriment aux axes de pol. des ray. lum.* ». Estratto: a. 1818, T. XI, p. 372 a 389 ed a. 1819, T. X, p. 63 a 81.

« *Sur une nouv. prop. phys., qu' acq. les lames de verre quand elles exéc. des vibr. long.* », a. 1820, T. XIII, p. 151, a 155.

« *Sur les propr. optiques de la chaux carbonatée vulg. nommée* Bitterspath », a. 1820, T. XIV, pag. 192, a 198.

« *Remarques sur un Rapport lu le 4 juin 1821, à l'Ac. d. Sc. par M.M. Arago et Ampère* », a. 1821, T. XVII, p. 225 a 258.

« *Sur un caract. optique à l'aide duquel on reconnaît immédiatement les sucs vég. qui peuv. donner du sucre analogue au sucre de cannes, et ceux qui ne peuvent donner que du s. sembl. au sucre du raisin* », a. 1833, T. LII, p. 58 a 72. È un articolo estratto dagli *Ann. du Mus. d'Hist. Nat.*

« *Sur l'emploi de la lum. polarisée pour manifester les différ. des combin. isomériques* », a. 1838, T. LXIX, p. 22.

« *Sur la constr. des app. destinés à observer le pouv. rot. des liq.*, » a. 1840, T. LXXIV, p. 401.

« *Sur la manifestation du pouvoir rotatoire moléculaire dans les corps solides* », a. 1850, T. XXVIII, p. 215 a 240 e 351 a 381.

(1) Veggansi del Fresnel i lavori seguenti, pure negli *Ann. de Ch. et de Phys.*.

« *Mém. sur la diffr. de la lum., où l'on examine partic. le phén des franges col. que prés. les ombres des corps éclairés par un point lumineux* ». a. 1816, T. I p. 239 a 281.

« *Lettre à M. Arago sur l'infl. de la chal. dans les coul. developpées par la polaris.* », Estr.: in a. 1817, T. IV, p. 298 a 300.

» *Mém. sur la diffr. de la lum.* », a. 1819, T. XI, p. 246 a 296, e 337 a 378. È la memoria premiata; dall'*Ac. d. Sc.* per il concorso al premio di fisica assegnato nella seduta pubblica del marzo 1819, e nella quale il Fresnel tratta in tutta la sua generalità il problema, stabilendone la nuova teoria.

« *Note sur le calcul des teintes que la polar. développe dans les lames cristallisées* e *Deuxième note sur la coloration des lames cristallisées* », a. 1821, T. XVII, p. 102 a 111 e 167 a 196.

« *Sur la double réfr. du verre comprimé* », a. 1822, T. XX, p. 376 a 383.

« *Explic. de la Réfr. dans le système des ondes* », a. 1822, T. XXI, p. 225 a 240.

« *Sur le Phén. des anneaux colorés* », a. 1823, T. XXIII, p. 129 a 134.

« *Mém. sur la d. Réfr. part. que prés. le cristal de roche dans la dir. de son axe* ». Estratto compilato da Fresnel stesso, a. 1825, T. XXVIII, p. 147 a 161.

« *Mém. sur la double Réfr.* ». Estratto testuale della prima — letta all'*Inst.* il 26 nov. 1821 — delle tre classiche memorie su l'argomento della d. r.; a. 1825, T. XXVIII, p. 263 a 279.

« *Sur la Loi des modif. imprimées à la lum. polarisée par sa réflex. tot. dans l'int. des corps transp.* » Mem letta all'*Instit.* il 7 genn. 1823. Estr. in a. 1825, T. XXIX, p. 175 a 187. La memoria completa per alcuni ann si ritenne smarrita. Venne ritrovata poi tra le carte del Fourier, e pubblicata integralmente in a. 1831, T. XLVI, p. 225 a 264.

(2) Dei lavori dell'Arago ha fatto egli stesso un riassunto nella *Notice sur la pol. de la lum.* già ricordata a pag. 317 e che — pag. 290 a 496 — trovasi nel T. VII delle *Oeuvr. Compl.*, ediz. citata.

Veggansi anche negli *Ann. de Ch. et de Phys.* i seguenti:

« *Sur un ph. remarq. qui s'obs. dans la diffr. de la lum.* », a. 1816, T. I, p. 199 a 202.

« *Remarques sur l'infl. mut. de deux Faisceaux lum. qui se croisent sous un très-petit angle.* », *ibid* pag. 332 a 334.

Rapporto su la seconda memoria del Fresnel sulla diffrazione, a. 1819, T. XI, p. 1 a 30.

Rapporto 4 giugno 1821 su la Mem. del Fresnel relativa ai colori delle lamine cristallizzate, dotate della doppia rifr., a. 1821, T. XVII, p. 80 a 102.

« *Examen des Rem. de Biot* ». È la risposta alle osserv. che il Biot aveva fatto sul rapporto antecedente, a. 1821, T. XVII, p. 258 a 273.

Rapporto su una mem. del Fresnel rel. alla doppia rifrazione, a. 1822, T. XX, p. 337 a 344.

Aggiungiamo pure il lavoro compiuto da lui col Fresnel: « *Mém. sur l'action que les ray. de lum pol exercent les uns sur les autres.* » *Ann. cit.*, a. 1819, T. X, p. 288 a 305.

(3) Fu il caso che fece trovare al Young la dimostrazione sperimentale delle interferenze luminose. Così lo narra il Verdet nelle sue magistrali *Leçons d'Optique physique* : « Avendo avuto occasione di osservare l'ombra di un capello rischiarato da una fessura luminosa molto stretta, ebbe a notare, nel mezzo dell'ombra, una frangia bianca e brillante tra due frangie oscure. Ripetè l'esperienza sostituendo al capello un rettangolo opaco molto stretto, e riconobbe nell'ombra di cotesto rettangolo una serie di frangie alternativamente brillanti ed

desso, è il fatto — in apparenza e per uno dei due lati — strano — in realtà molto semplice e logico — che l'aggiungersi della luce alla luce può dare rinforzo od indebolimento secondo le circostanze — come avviene per il suono — è cotesto fatto, diciamo, che nelle mani del Fresnel doveva diventare una delle pietre fondamentali dell'ottica, grazie al « *Mémoire sur la diffraction de la lumière* » che il grande ingegnere francese presentava il 29 luglio 1818 all'Accademia delle Scienze e questa premiava nel 1819 (1).

oscure. La frangia centrale è bianca e fiancheggiata da due oscure ; le altre frangie brillanti sono colorate molto sensibilmente, e tanto più quanto più sono lontane dal mezzo dell'ombra. Young fece di più una osservazione molto importante: intercettando con uno schermo opaco la parte di luce che passava presso uno dei lembi del rettangolo, vide scomparire completamente le frangie esistenti nell'interno dell'ombra.

Dopo ciò era ben difficile il rifiutarsi ad ammettere che coteste frangie sono dovute al concorso dei raggi passanti presso i due lembi del rettangolo.... Young immaginò una esperienza più concludente ancora per provare l'esistenza delle interferenze luminose. Fece arrivare il fascio di raggi solari trasmesso da un forellino praticato nell'imposta di una camera oscura su due altri forellini stretti e vicini, praticati in uno schermo opaco ; ricevette su un secondo schermo i due coni luminosi dilatati dalla diffrazione in modo da sovrapporsi l'uno su l'altro, e, nell'ombra della parte opaca situata tra le due aperture del primo schermo scorse una serie di striscie finissime, alternativamente brillanti ed oscure. Erano esse tanto più sottili, quanto maggiore era la distanza che separava i due forellini. Esse scomparivano al chiudersi di uno dei due fori; scomparivano pure quando, al fascio unico originato da uno stretto forellino si sostituiva la luce solare diretta, o quella di una sorgente artificiale

Di più le striscie occupavano esattamente le posizioni nelle quali, secondo la teoria, i moti vibratori dovevano reciprocamente rafforzarzi od indebolirsi ».

A cotesta pagina del Verdet aggiungeremo, anche ad illustrazione di quanto è detto sopra, che il Young aveva considerato le interferenze in un lavoro — « *Outlines of Experiments and Enquiries respecting Sound and Light* », *Phil. Trans.*, a. 1800, p. 106 a 150 —. Però, cotesto principio delle interferenze per la luce si trova formulato come proposizione matematica in un lavoro successivo — « *Bakerian lecture on the Theory of Light and Colour* », lettura fatta nel 1801, e pubblicata nelle *Phil. Trans.* del 1802, p. 12 a 48. — Ivi esso — Proposizione VIII pag. 34 — è enunciato come segue: *Quando due ondulazioni, provenienti da diverse origini, coincidano sia perfettamente, sia molto prossimamente in direzione, il loro effetto comune* (THEIR JOINT EFFECT) *è una combinazione dei movimenti appartenenti a ciascuna.* All'enunciato segue una illustrazione che lo completa. « Poichè ciascuna particella del mezzo » scrive il Young « viene affetta da ciascuna delle ondulazioni, semprechè le direzioni coincidano, le ondulazioni non possono procedere in altra maniera che col riunire i loro moti, così che il moto composto debba essere la somma o la differenza dei singoli movimenti, secondo che si trovano a coincidere parti simili o dissimili delle ondulazioni ». E, ricordato come in quel primo lavoro, che già fu menzionato, egli avesse insistito su l'applicazione di quel principio alle armoniche, passa a dire come esso debba apparire di utilità anche più grande nello spiegare i fenomeni dei colori, cosa che mostra con applicarlo a cinque corollari riguardanti la spiegazione dei *colori delle superfici striate, di quelli delle lamine sottili, di quelli delle lamine spesse, del nero, dei colori per inflessione.*

Noteremo ancora come in quel lavoro sia — prop. IX, p. 44 — la proposizione esplicita: « La luce raggiante consiste in ondulazioni dell'etere luminifero ». Quanto alle dimostrazioni sperimentali di cui parla il Verdet nel brano riportato sopra, esse sono in un terzo lavoro — « *An Account of some Cases of the Production of Colours not hiterto described* » — letto alla *R. Soc.* di Londra il 1.° luglio 1802, e pubblicato nelle *Phil. Trans.* dello stesso anno — pag. 387 a 397 — e nel quale il Young, ricordata lo proposizione VIII della *Bakerian Lecture* del 1801, e come essa basti « a spiegare tutti i fenomeni descritti nel secondo e terzo libro del Newton », si compiace nell'osservare come sia di ancora maggiore soddisfazione il constatare la sua conformità ad altri fatti, costituenti una nuova e distinta classe di fenomeni — i colori delle fibre e delle « *mixed plates* » — constatazione ch'egli fa appunto mediante molte e svariate esperienze.

(1) La Memoria è stampata nei *Mém. de l'Ac. R. d. Sc.*, T. V — anni 1821 e 1822 — pag. 339 a 475. Essa quale venne stampata. presenta rispetto alla originaria qualche modificazione sul modo di redazione, senza però che vi sia nulla mutato nè della teoria nè delle esperienze: solo, di queste, ne sono aggiunte di nuove in nota.

Nella Memoria il Fresnel — ricordato come il Newton fosse stato per la teoria dell'emissione, ed il Descartes, l'Hooke, l' Huygens, l'Eulero invece avessero abbracciato quella delle ondulazioni — fa questa giusta osservazione: l'ipotesi dell'emissione « a l'avantage de conduire à des consequences plus évidentes, parce que l'analyse mécanique s'y applique plus aisement; la seconde au contraire, présente sous ce rapport des grandes difficultés. Mais dans le choix d'un système, on ne doit avoir égard qu'à la simplicité des hypothèses; celle des calcul ne peut être d'aucun poids dans la balance des probabilites. La nature ne s'est pas embarassée des difficultés........ ». In quali condizioni il Fresnel precisasse che solo fosse possibile stabilire delle teorie, dice pure chiaramente egli stesso poco dopo il passo testè citato. « Si l'on s'est quelequefois égaré en voulant simplifier les éléments d'un science, c'est qu'on a établi des systèmes avant d'avoir assemblé un assez grand nombre de faits ».

È interessante pure la rassegna di tutte le complicazioni d'ipotesi occorrenti alla teorica dell'emissione, alla quale aggiunge che cotesta moltiplicità e complicazione non è il solo difetto del sistema dell'emissione; ed in

Dall'epoca del Fresnel, su le interferenze e la diffrazione, la storia deve ricordare una vera congerie di lavori. In essa spiccano, nel campo della teoria, quelli del Chwolson, del Weber, di Otto Struve per le prime, del Joubert, del Cornu, del Voigt, del Sagnac, del Rowland, del Sokoloff, del Rayleigh dell'Oumoff per la seconda: e con essi quelli del Righi per ricerche sperimentali su le interferenze (1), per la produzione e studio dei battimenti luminosi (2) e sui fatti accompagnanti la sovrapposizione di due reticoli (3); del Cantone (4) sul sistema delle frangie per una sorgente a due colori; del Basso (5) per contribuzione allo studio della diffrazione; del Fizeau e del Foucault per le interferenze prodotte da una grande differenza di marcia; del Branly su la larghezza delle frangie nell'esperienza dei due specchi; del Desains, del Mascart, di Sohnke e Wangering, su gli anelli del Newton; del Mascart ancora, su quel magistrale esperimento dei tre specchi con cui il Fresnel dimostrava la variazione di fase della vibrazione, ottenibile semplicemente mediante riflessione; del Sekulic su le interferenze con specchi ricoperti da polvere e dell'Exner su quelle ottenute con superficie oscure. Ed aggiungiamo il contributo dei mezzi di osservazione, dall'apparecchio a due specchi e dal biprisma del Fresnel ai *refrattometri interferenziali* ed ai *com-*

Gli anelli off. della luce polarizz. nei crist. di arragonite.

realtà la Memoria si risolve nella dimostrazione di un duplice fatto: quello che con la ipotesi dell'emissione non si può giungere « à l'explication complète des phénomènes » e l'altro che « la seule théorie des ondulations peut rendre compte de tous ceux que présente la diffraction ». Nella sezione prima — pag. 351 a 372 — è la dimostrazione — lucidissima — del primo fatto; nella seconda — pag. 375 a 455 — è quella del secondo; dimostrazione che il Fresnel fa risolvendo — 375 a 383 — il problema delle interferenze, applicando — 383 a 403 — il principio di Huygens delle onde inviluppanti — V. Introduzione, p. 43 — ai fenomeni della diffrazione, e, — 403 a 455 — la teoria delle interferenze al principio di Huygens.

Così nella seconda sezione è dimostrato con la maggior evidenza che nel sistema delle ondulazioni si può dare una spiegazione soddisfacente ed una teoria generale delle interferenze e della diffrazione senza ricorrere ad alcuna ipotesi secondaria, ed appoggiandosi unicamente al principio di Huygens ed a quello delle interferenze, i quali sono — l'uno e l'altro — nulla più che conseguenze dell'ipotesi fondamentale.

La Memoria ha poi due note: l'una — p. 456 a 464 — sul calcolo dell'intensità della luce al centro dell'ombra di uno schermo e di un'apertura circolari illuminati, da un punto radioso; l'altra — 465 a 475 — contiene la spiegazione della rifrazione nel sistema delle ondulazioni.

(1) In *Mem. dell'Acc. delle Sc. di Bologna*, a. 1877, 3.ª serie, T. VIII.

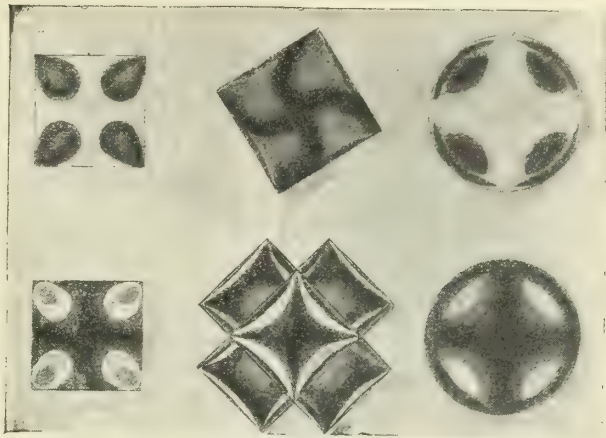
Dolenti che l'indole della memoria non consenta il riassumerla qui, dobbiamo però notare come essa sia degna del grande fisico italiano, e come porti l'impronta della genialità di lui sia nella novità del metodo di indagine, sia nell'interesse offerto dai problemi alla cui risoluzione il metodo è applicato.

(2) *Ibid.* 4.ª serie, T. IV. È un lavoro nel quale il Righi espone il modo ingegnoso con cui pervenne a risolvere il problema — singolarmente difficile — di produrre dei battimenti luminosi analoghi a quelli del suono, e dà enunciati e dimostrazioni analitiche di tutta una serie di proposizioni nuove su cotesto argomento insieme ad una ricca serie di esperienze illustrative.

(3) In *Nuovo Cimento*, a. 1887, T. XXI, p. 203. Oltre che la teoria e le esperienze che ne comprovano i risultati, sono indicate in quel lavoro le applicazioni delle frangie di diffrazione ottenute appunto sovrapponendo l'uno all'altro due reticoli — in modo che le linee formino tra loro un piccolo angolo — alla misura di spostamenti piccolissimi, allo studio dell'acromatismo di un sistema ottico, ed all'esame del grado di precisione di una vite micrometrica.

(4) *Ibid.* a. 1888, T. XXIV, p. 59. Il Cantone ebbe l'idea di ricorrere ad una sorgente di luce a due colori semplici — quella di litio e sodio insieme, che danno luce rossa semplice e gialla pure semplice — per valutare lo spostamento delle frangie nell'apparecchio del Fizeau — V. pag. 184 e seg. — quando si tratta di variazioni rapide di lunghezza, cosa a cui non si poteva riuscire usando luce di un solo colore, come si era sempre fatto prima del Cantone. Egli giungeva così a valutare variazioni di lunghezza *istantanee* di 24 diecimillesimi di millimetro!

(5) *Ibid.*, a. 1881, T. IX, p. 67. Trattazione più completa di un caso già trattato dal Fresnel: quello di un punto luminoso e di uno schermo indefinito, recante un foro circolare di cui il centro è su la perpendicolare, allo schermo passante per il punto.

pensatori con cui le frangie ed i loro spostamenti sono applicati a misure squisite di dati disparatissimi — quali gl'indici di rifrazione e la comprimibilità dei liquidi — o dai *reticoli* meravigliosi (1) nei quali si è andato trasformando il semplicissimo sistema di sottilissimi fili tesi, paralleli, ideato originariamente dal grande Fraunhofer, e che, se offrono all'occhio anche profano il godimento di frangie di diffrazione dai colori dell'iride di una bellezza insuperabile per purezza e vivacità di tinte e per perfezione e varietà di disegni, danno allo scienziato — meglio ancora del prisma (2) — il mezzo di studiare lo spettro luminoso, gli offrono quello di riuscita nelle indagini su problemi i più astrusi e delicati relativamente alla luce, e di applicazioni veramente importanti o singolari, quali quella del Michelson — V. pag. 186 — alla costruzione di un campione immateriale di lunghezza, del Fizeau allo studio delle dilatazioni, del Benoit alla metrologia, del Wadsworth alla determinazione delle minime deviazioni angolari; del Grunmach a quella della tensione superficiale di liquidi come il mercurio, od il piombo, stagno e diverse

Effetti prod.. dalla tempera o dalla compress. nel vetro attraversato da luce polarizz.

Legg. espl. — Si tratta sempre di effetti di colorazione anal. a quelli dei crist. birifrangenti. Lamina quadrata : effetti che si hanno fac. ruotare la lam. nel suo piano. Lam. circ. : effetti analoghi. Sim. per le due lam. rettang. incrociate.

(1) Sono celebri i reticoli su metalli da specchi del prof. Rutherfurd, e quelli costruiti in Francia dal Pellin e dal Brunner. Ma la palma venne toccata dal prof. Rowland di Baltimora. Sotto la di lui direzione il meccanico Schneider è arrivato a costruire una macchina di divisione nella cui vite è stato impossibile scoprire errori raggiungenti il *quattromillesimo di millimetro*, e che può dare dei tratti di 17 cm. di lunghezza su una larghezza di 25 cm. Con essa il prof Rowland ha potuto avere dei reticoli che sono tra le meraviglie maggiori in fatto di strumenti per indagini fisiche. Uno di essi ha 160.000 tratti su una lunghezza di 138 millimetri. Il Mascart nel suo studio « *Sur les réseaux métalliques de M. H. A. Rowland* » — *Journ. de Phys.*, a. 1883, p. 5 — dà una nota dei reticoli principali segnalati dal prof. Rowland. La riproduciamo in parte — avvertendo che il Rowland fu il primo che avesse l'idea di tracciare dei reticoli su superficie di specchio concavo, e perchè darà un idea della squisitezza di cotesti reticoli : 1 ° Retic. piano quadrato di cm. 2,54 di lato, con 43·080 tratti ossia circa 1700 per mm.: II. R. piano cm. 5 $\times$ cm. 7,5; 43.314 tratti, ossia 570 p. mm.: III R. p., stesse dimensioni, 1200 tratti p. mm.: IV R. p. cm. 5 $\times$ cm. 8; 570 tratti p. mm.: V. R. concavo di cm. 5 $\times$ cm. 7,5; m. 2,13 di raggio; 190 tratti p. mm.: VI R. concavo, cm. 5 $\times$ cm. 14; 1140 tratti p. mm.; circa m. 5,20 di raggio; 160.000 tratti.

Il costo enorme di cotesti reticoli, da una parte, e dall'altra la grande importanza ed il largo uso che il reticolo ha, richiamarono da tempo l'attenzione dei fisici; e se alcuni — come fece l'americano Rogers verso il 1880 — idearono macchine speciali che semplificassero la costruzione, altri pensarono ad una produzione buona ed economica mediante la fotografia.

Citiamo tra questi lord Rayleigh, il quale nella prima parte della sua classica memoria. « *On the manufacture and theory of diffraction gratings* » — in *Phil. Mag.* febbr. e marzo 1874 — prima di quella trattazione teorica in cui sono punti di vista nuovi ed interessantissimi, espone le difficoltà della preparazione fotografica dei reticoli, ed indica i modi con cui possono vincersi, nonchè i processi — all'albumina secca processo Taupenot, processo al tannino, e sopratutto quello al collodio clorurato quale lo fabbricano Mawson e Swan di Newcastle — più atti a dare buoni risultati. Citiamo ancora l'Izarn – *Journ. de Phys.*, a 1894 p. 434 — che insegnava ad applicare in cotesta costruzione fotografica il processo a gelatina bicromatata, e, l'americano Todd che qualche anno dopo — 1900 — applicava il metodo dell'Izarn alla costruzione dei reticoli circolari.

(2) Vegg. tra altri — per la sostituzione del reticolo al prisma nella spettroscopia solare — un bel lavoro di C. A. Young nell'*Am. Journ. of Sc. a. Arts.* del 1873, T. V, 3.ª serie.

Sarà il caso di ricordare come anche le celebri determinazioni di lunghezza d'onda del Mascart — T. I. degli *Ann.* de l'*École Normale* — furono fatte mediante i reticoli.

leghe allo stato di fusione; dello Shakespear a misurare i coefficienti di elasticità di trazione nei fili, e le loro variazioni per mutare di temperatura o per azione di magnetismo; del Mallock alla valutazione del raggio di curvatura di un lembo tagliente; dell'Hamy a quella del diametro dei satelliti di Giove.

Ma un altro campo vastissimo — vorremmo dire sterminato — di studi troviamo nella doppia rifrazione e nella polarizzazione. È il campo in cui subito al cominciare del secolo si erge la figura del Malus, che — 1808 (1) — creatore — diremo coll'Arago — di un nuovo ramo dell'ottica, studiava la polarizzazione per riflessione, ed assegnava la legge relativa all'intensità dei due raggi — l'*ordinario* e lo *straordinario* (2) — nel caso di luce polarizzata per doppia rifrazione ed in quello di luce polarizzata per riflessione.

Della doppia rifrazione — fu detto — aveva scoperto le leggi l'Huygens per i cristalli ad un asse, e fu merito grande: « cette découverte » scrive Fresnel nel suo *Mémoire sur la double réfraction* (3) « était peut-être plus difficile à faire que toutes celles de Newton sur la lumière; et ce qui semble le prouver, c'est que Newton après d'inutiles efforts pour découvrir la vérité est tombé dans l'erreur ». La esattezza della legge dell'Huygens, sebbene poggiasse su verifiche sperimentali di quel grande « aussi remarquable peut-être pour sa bonne foi, que pour sa rare sagacité (4) » era stata misconosciuta per oltre un secolo. Young fu il primo che sospettasse giusta quella legge, e dietro consiglio di lui il Wollaston la verificava con esperienze numerose e precise, dopo le quali — come vennero conosciute in Francia — il Malus (5) se ne occupava pure, trovando, con il Wollaston, accordo perfetto dei numeri dati dalla teoria coi risultati dell'esperienza.

(1) « *Sur une propriété de la lum. réfléchie* » e « *Sur une propr. des forces répulsives qui agissent sur la lum.* » in *Mém. de la Soc. d'Arceuil*, a. 1809, T. II, p. 143 a 158 e 254 a 267 L'enunciato della celebre legge si trova a pag. 262 ed è il seguente: « Si on conçoit un plan passant par le rayon ordinaire et l'axe du premier cristal, et un second plan passant par le rayon extraordinaire et l'axe du second cristal, la quantité de lumière provénant de la réfraction ordinaire du prémier corps et réfractée ordinairement par le second cristal, est proportionelle au carré du cosinus de l'angle compris entre les deux plans proposés, et la quantité de lumière réfractée extraordinairement proportionelle au carré du sinus du même angle. Si c'est le rayon extraordinaire du prémier cristal sur lequel on opère, on obtient un résultat analogue en changeant le mot ordinaire en extraodinaire, et réciproquement.

« Quant à la réflexion, si on considère, par exemple, un rayon réfléchi par une première glace en faisant avec elle un angle de 35°.25′, et tombant sous la même angle sur une seconde glace; l'angle compris entre les deux surfaces étant d'ailleurs arbitraire: il faut concevoir par ce rayon réfléchi un plan perpendiculaire à la première glace, et un autre perpendiculaire à la seconde; la quantité de lumière réfléchie par celle-ci sera proportionelle au carré du cosinus de l'angle compris entre les deux plan proposés ».

È noto poi che fu scomponendo per caso, verso la fine dell'anno 1808, mediante un romboide di carbonato calcare, la luce del sole che tramontava, riflessa dai vetri delle finestre del Luxembourg, che il Malus riconobbe per la prima volta la differenza di intensità delle due imagini. « Une semblable difference d'intensité » — scrive l'Arago — *Oevr. Compl.*, T. VII, pag. 377, ediz. cit. — « avait du se présenter aux yeux des minéralogistes toutes les fois qu'en essayant de découvrir la double réfraction des cristaux, l'aiguille déliée dont il se servent, comme point de mire, se projetait sur un ciel serein, c'est-à-dire sur un rideau de lumière polarisée; mais le fait ne les avait point frappés. Malus s'en saisit, aperçut toute son importance, le compléta, l'analysa sous toutes ses faces avec la plus rare sagacité, et devint ainsi le créateur d'une nouvelle branche d'optique ».

(2) V. Introduzione, pag. 49 e seg., per il significato di queste parole.

(3) Cotesta memoria, come venne pubblicata poi a parte, è la riunione di tre memorie presentate all'*Ac. d. Sc.* rispettivamente il 26 novembre 1821, il 22 gennaio ed il 22 aprile 1822, con l'aggiunta di una dimostrazione completa della direzione trasversale delle vibrazioni luminose, che è il principio su cui riposa la teoria della doppia rifrazione e della polarizzazione; dimostrazione pubblicata originariamente nel *Bull. de la Soc. Phylom.*, dell'ottobre 1824.

(4) Fresnel, *l. c.*

(5) *Mém. des Sav. Étrangers*, T. II, p. 303 e seg.

Toccava però al Fresnel di dare la teoria completa della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse (1): egli la dava pure per quelli a due assi, non riuscendovi tuttavia altrettanto felice.

Alla teoria ed all'esperienza in cotesta branca sono poi legati i nomi del Cauchy, del Von Lang, del Carvallo, del Rudberg, dell'Hamilton, del Lloyd, del Lissajous, del Laurent, ed anche di quei moltissimi altri, i quali trattarono punti particolari, come fecero il Pfaff che studiava l'influenza — sempre su la doppia rifrazione — della temperatura e della pressione; il Röntgen che ne esaminava la variazione nel quarzo per azione di forze elettriche; il Rayleigh, il Mascart, lo Czapski, che prendevano a considerare quella dovuta a riscaldamento non uniforme, o la studiavano nei vetri, in relazione sia con la tempera sia col raffreddamento rapido.

Questi nomi non devono tuttavia far dimenticare quello del Biot, pioniere della scienza anche in cotesto ramo, come il lettore potrà argomentare anche solo dal titolo e dalla data di alcuni dei lavori di lui già ricordati — pag. 363 e 364 — al principio di questo capitolo.

Mascart.
Da fotografia possed. dall'a.

Ed il nome del Biot, con quelli del Malus, del Fresnel, dell'Arago, del Brewster (2), del Young (3), del Seebeck (4), sono anche per la polarizzazione non solo appunto nomi di pionieri, ma di uomini che seppero, oltrechè scoprire i fatti fondamentali, assegnarne le leggi, vederne molte delle applicazioni, stabilire, in una parola, il grosso del patrimonio delle

(1) Su la genesi della teoria della doppia rifrazione il Fresnel scrive queste parole, che riportiamo perchè mostreranno chiaramente al lettore quale intimità di nesso leghi cotesto fenomeno a quelli della polarizzazione: « Longtemps avant de l'avoir conçue, et par la seule méditation des faits, j'avais senti qu'on ne pouvait découvrir la veritable explication de la double réfraction sans expliquer en même temps le phénomène de la polarisation qui l'accompagne costantement: aussi est-ce après avoir trouvé quel mode de vibration constituait la polarisation de la lumière, que j'ai entrevu sur-le-champ les causes mécaniques de la double réfraction ».

(2) Sono moltissimi i lavori di sir David Brewster nel campo di questa parte dell'ottica. Ne ricorderemo qui segnatamente due — non dei primi, ma di speciale importanza —: « *On the polarisation of Light by oblique transmission through all bodies, whether crystallized, or uncrystallized* » in *Phil. Trans.*, a. 1814, p. 219 a 230; e « *On the effects of simple pressure in producing that species of crystallization which forms two oppositely polarized images, and exhibits the complementary colours by polarized Light* » pure in *Phil Trans.*, a. 1815, p. 60 a 64.

Su una parte degli studi del Brewster anteriori a cotesti, e precisamente su la polarizzazione cromatica scoperta dall'Arago — Memoria letta all'*Ac. d. Sc.* l'11 ag. 1811 e stampata nei *Mém.* del medesimo anno — l'Arago stesso — *Oeuvr. Cmpl. ed. cit.*, T. VII, p. 381 — ricordata la sua scoperta, scrive: « M. Brewster a publié, en 1813, des observations analogues dans son *Treatise of new philosophical instruments.* Il annonce que ses observations furent faites *avant qu'il eût vu le travail de M. Arago, comme aussi avant qu'aucun de ses compatriotes eût eu quelque connaissaince de ce qui avait été fait en France.*

À l'égard du premier point, un homme du mérite de M. Brewster doit être cru sur parole; mais ne me sera-t-il pas permis de faire remarquer que le Mémoire di M. Arago ayant été inséré par extrait dans le *Moniteur* du 31 Août 1811, le savant sécretaire de la Société d'Edinburgh aurait probablement quelque peine à prouver sa seconde assertion? »

(3) In *Quarterly Review*, a. 1814, T. XI, p. 42 a 49. — V. Arago *Notice sur la Pol.*, p. 391, *ed. cit.*

(4) « *Sur le developpement des forces polarisantes par la pression* » in *Bull. de la Soc. Philom.*, a. 1816, p. 49.

nostre cognizioni in una delle parti più nobili, più seducenti, più importanti della fisica.

Così il Malus scopriva gli effetti della riflessione sui raggi polarizzati e la polarizzazione dei raggi riflessi, assegnava la regola per calcolare l'angolo di polarizzazione completa alla seconda superficie dei mezzi diafani, dato l'angolo di polarizzazione completa per la prima, scopriva (1) che il fascio trasmesso da uno specchio diafano è parzialmente polarizzato in un piano perpendicolare a quello di polarizzazione del fascio riflesso; nonchè la proprietà polarizzante delle pile di vetri. Il Brewster scopriva la legge che lega l'angolo di polarizzazione completa al potere rifrangente del corpo, ed il fatto che l'agata ed altri corpi naturali operano su la luce come le pile di vetro del Malus. Il Fresnel — com. all'*Ac. d. Sc.* del 24 nov. 1817 e genn. 1818 — dava notizie preliminari su le deviazioni provenienti da riflessione del piano di polarizzazione di un fascio preventivamente polarizzato, e nelle memorie del 1821 assegnava le leggi colleganti tra loro i diversi piani di polarizzazione di fasci variamente riflessi e rifratti; scopriva la polarizzazione circolare, e, con l'Arago, le modificazioni che la polarizzazione porta nei fenomeni di interferenza; ideava anche su questo punto numerose esperienze, tra le più ingegnose e delicate e concludenti. Il Biot assegnava leggi su la polarizzazione cromatica, dava — 1818 — le regole relative alla deviazione degli assi di polarizzazione, dopo che aveva esteso — 1815 — agli strati di certi liquidi — terebenteno, olio essenziale di limone, ecc. — le proprietà delle lamine perpendicolari all'asse.

Il *cromatometro universale* dell'Andrieu.

Da pubbl. della celebre Casa Ph. Pellin, costruttr. dell'app.°

Legg. espl. — Si compone di due corpi principali. Quello di destra è destin. a prod. il tipo di colore di confronto med. la polarizz. della luce op. da due prismi di Nicol *R, P* — costit. un unico *polarizz.* —, una serie di *lamine di quarzo* — portate dal disco *Q*, tagliate perpend. all'asse, di spess. tale da dare il rosso, il ranciato, il giallo, l'azz., il verde — un *compensatore* *C* ed un *analizzatore A*. Il corpo di sinistra è destin. a ricev. il liquido su cui si sperimenta, che è posto nella vasca c^2, e di cui si fa variare lo spessore med. il *plongeur f* — cilindro di vetro a teste piane parallele —. Med. opp. rifless. il fascio rifl. dallo specchio *M* si biforca, e dopo avere attrav., così diviso, i due corpi, va a dare le due immag. su un solo disco osservar. med. l'oculare *O*. Si regolano lo spess. del liq. e la tinta forn. dal quarzo in modo che siano ident. la intens. luminosa ed il colore. Si tiene nota dello spessore del liquido: il colore, poi, dato da una colonna liq. di determ. altezza, è definito dallo spess. del quarzo impieg., dalla posiz. del compensatore, ed infine dall'angolo di cui ha ruotato il nicol *R*.

Il Young trovava la chiave dei fenomeni di depolarizzazione operati dalle lamine cristalline parallele all'asse, insegnando che la tinta di cui brilla ciascuna delle immagini può essere calcolata mediante la legge delle interferenze, tenendo conto della differenza di percorso del raggio ordinario e dello straordinario.

L'Arago, infine, faceva le prime osservazioni di parziale polarizzazione di raggi, formulava il teorema generale, di cui la regola, accennata sopra,

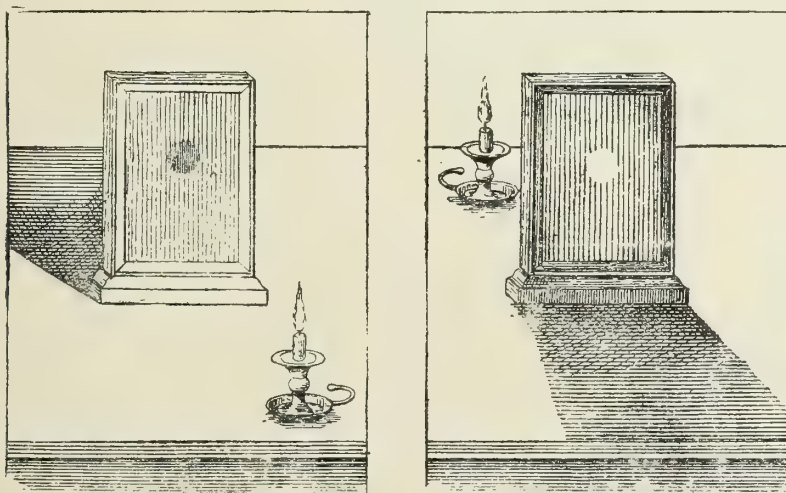
(1) Com. all'*Ac. d. Sc.* dell'11 marzo 1811, *Moniteur* del giorno successivo.

del Malus è un caso particolare; scopriva l'uguaglianza delle quantità di luce polarizzata nel fascio riflesso e nel trasmesso, scopriva la polarizzazione cromatica, dava leggi su la depolarizzazione, ed estendeva le sue indagini all'atmosfera, all'azzurro del cielo, alla luce del sole. Ed a lui pure è dovuta la scoperta immensamente feconda della polarizzazione rotatoria.

Al Seebeck il merito della scoperta dei fenomeni che le azioni meccaniche e termiche determinano nel vetro.

Molte delle esperienze — potremmo dire tutte — di quegli uomini insigni si ripetono tutto giorno nei corsi, valendosi di apparecchi — polarizzatori ed analizzatori svariati — come l'apparecchio di Norremberg e la pinza a tormaline, o i prismi del Rochon, del Wollaston, del Senarmont, del Nicol, dell'Hartnack e Prazmowski — differente dal nicol, solo per sostituzione degli oli di lino e di papavero al balsamo del Canadà —.

E quando si ricorre, per ripeterle, ai grandi apparecchi, come sono quelli perfezionati da proiezione, esse fanno scaturire dalle sottili lamine incolore e passare sotto gli occhi dello spettatore tutto quanto, in fatto di tinte, offre di più brillante, di più bello, di più puro la tavolozza della natura, quanto di più elegante e perfetto nelle forme geometriche dei disegni, quanto di più fine nelle sfumature di tinte e di pennacchi è concesso all'occhio umano di contemplare.

Ai lavori di quei grandi padri della scienza hanno aggiunto l'opera

Il principio del *fotometro* del Bunsen.

Una macchia di stearina, fatta su un foglio di carta, appare oscura su fondo chiaro se guardata dalla parte del foglio più illuminata, ed appare invece chiara su fondo osc. se osserv. dalla banda opp. Ove si illumini una faccia con una delle sorgenti lum. da confrontare, e l'altra faccia coll'altra sorg., regolando opport. le distanze, la macchia scompare: ciò avviene quando le due sorg. illuminano ugualmente Si misurano allora le dist. delle due sorg. di luce dal foglio: il quadrato del rapporto di coteste distanze dà il rapporto del potere luminoso di una delle sorgenti rispetto all'altra.

loro il Cauchy ed il Foucault, il Bertin ed il Cornu, il Govi ed il Righi, il Des Cloizeaux ed il Jamin, il Wiedemann e l'Arndtsen, il Marbach ed il Sohncke, il Joubert e il Gernez, il Mitscherlich ed il Pasteur, e, possiamo ben dire, centinaia di fisici. Ne scaturirono, oltre che una grande copia di

fatti e di studi teorici geniali — nei cui particolari non possiamo entrare — applicazioni pratiche svariate, della cui vera importanza avremo dato un'idea adeguata ricordando, tra altre quella che hanno nella *colorimetria*, nella *polarimetria* in genere, nella *saccarimetria* (1).

IV.

LA FOTOMETRIA — LA VISIONE — LE METEORE LUMINOSE.

Mentre nei campi testè accennati il primo quarto del secolo XIX costituisce un periodo, di fronte alla cui opera quasi impallidisce quella dell'ultima parte, nella fotometria è solo nella seconda metà del secolo che con la giustezza dell'indirizzo si raggiunse la praticità e sicurezza di metodo. Non che nella prima metà del secolo la fotometria non abbia avuto cultori. Ne ebbe anzi moltissimi, ed i periodici e le pubblicazioni accademiche di quell'epoca abbondano di lavori intesi vogliasi a confronti di intensità di lampade e candele, ovvero della luce degli astri, vogliasi infine ad altre determinazioni. Così troviamo un fotometro Nicod-Delom, a cui il Raymond (2) moveva appunti: troviamo lavori del Wheatstone e del Brewster: troviamo esperienze fotometriche del Potter (3) sul potere riflettente dei metalli, del De-Maistre (4) a Pietroburgo, del Quetelet (5) a Bruxelles, dell' Arago (6) dello Steinheil (7), tutte riguardanti l'astrofisica; e così via fino a quelle — del periodo nuovo — del De La Rive (8) dirette a valutare la trasparenza dell'aria ed a quelle di poco precedenti, o diverse nell' oggetto, del Wittwer (9), del Wild (10), dello Zöllner (11), del Bothe (12). Di tutti cotesti studi, pur nella varietà delle disposizioni, delle invenzioni, degli scopi, non si può dire — generalmente parlando — che portassero un indirizzo sostanzialmente diverso da quello che avevano seguito il Lambert ed il Bouguer, e che aveva guidato

(1) Nei *colorimetri*, il cui capostipite è il *colorigrado* ideato dal Biot — e mercè i quali si definisce, e valuta numericamente, il colore dei liquidi — se disposti per utilizzare gli effetti di colorazione operati dalla polarizzazione, basta una serie di lamine di quarzo — di varia spessezza opportuna — perchè sia prodotta in modo sempre ed assolutamente identico l'una o l'altra delle mille gradazioni che offrono i colori. E così il colorimetro divenne istrumento di precisione per il biologo — nello studio del sangue e delle orine —, per il meteorologo — nella determinazione dell'azoto ammoniacale dell'aria — per l' enologo — nello stabilire la colorazione esatta dei vini, nel completare la identificazione di un dato tipo, nel rivelare le minime alterazioni, nel lavorare con la sicurezza di risultato buono nelle delicatissime operazioni del *taglio* —. Nell'arte tintoria esso dà mezzo di precisare il potere colorante delle sostanze da tintura da essa impiegate; nell'industria degli zuccheri permette di precisare il potere decolorante del nero animale; nelle acciaierie di stabilire la quantità di carbonio contenuta in un dato prodotto.

Nei *polarimetri* i fenomeni della polarizzazione cromatica scoperti dall' Arago servono all analisi delle sostanze dotate di potere rotatorio, giusta quanto ebbe ideato il Biot. In essi un polarizzatore ed un analizzatore — tra i quali si pone la sostanza da studiarsi — un polariscopio opportuno, ed un canocchiale con cui osservare il polariscopio, danno il mezzo di analisi sicure e speditissime.

I *saccarimetri* sono polarimetri disposti specialmente per lo studio delle materie zuccherate. Su gli stessi principi si basano i *diabetometri*, i *glicosimetri* ecc., le cui applicazioni sono chiaramente indicate dal nome medesimo dell'apparecchio.

(2) *Bibl. Univ.* di Ginevra del luglio 1816.

(3) *Pogg. Ann.*, T. XXII, p. 608; (4) *Pogg. Ann.*, a. 1833, T. XXIX, p. 187; (5) *Ibid.* p. 187; (6) *Ibid.* p. 191; (7) *Gotting. gel. Anz.* a. 1835, N. 34 e 35; (8) *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1897, T. XII, p. 243; (9) « *Ueber die Enwirkung des Lichts auf Chlorwasser* » in *Pogg. Ann.*, a. 1855, T. XCIV, p. 597; (10) « *Ueb. ein neues Photom. u. Polarimeter nebst einigen damit Beobachtungen* » stessi annali, a. 1856, T. XCIX, p. 235; (11) « *Photometrische Untersuchungen* », stessi annali, a. 1857, T. C., p. 381; (12) « *Das Tangenten-Photometer* » stessi annali, a. 1866, T. CXXVII, p. 628.

lo stesso Rumford, per il quale l'ultimo decennio del secolo XVIII aveva segnato un periodo importante di attività anche nel campo dell'ottica (1), ed in quello peculiare della fotometria lo aveva condotto alla invenzione di un fotometro (2) di cui tuttogiorno si pubblica nei trattati anche elementari la descrizione, perchè — nel principio — esso vive anche in più d'uno tra i fotometri moderni.

Di quel periodo, il fotometro del Foucault e quello del Bunsen — ancora molto in uso — sono certamente degni di nota, come lo sono alcuni di quelli nominati, come lo sono le sei monografie del Masson — *Études de Photométrie Électrique* (3) —: ma a portare la fotometria su basi solide ed a trarne risultati veramente concludenti era necessario vi si tenesse conto di elementi o non curati affatto, o curati solo insufficientemente, quali la tinta della luce, il diverso potere luminoso delle sorgenti nelle diverse direzioni, l'influenza dei fattori fisiologici della visione. Nemmeno si era pensato a precisare un sistema di unità di misure: onde, ad esempio, le esperienze fotometriche — pure molto notevoli — dello Steinheil su le stelle non potevano dare più che luminosità relative, come sono appunto quelle da lui ottenute — ne indichiamo tra le principali — di Rigel e Procione, di Sirio e Rigel, di Procione e Sirio.

Il *microfotometro* del Cornu.

Da pubbl del dr Pellin, costr. dell'istrum.

Legg. espl. — *A* specchio nero così disposto da intercett. metà del disco lum. che — med. il microscopio *M* — l'occhio può vedere come formato dalla luce prov. da L_1, e riflettere invece metà dell'analogo disco form. dalla luce di L_2. Si possono regolare le cose in modo che i due mezzi dischi formino un disco unico tagliato verticalm. dal lembo sottile vertic. dello specchio *A*. Med. una tavola che accomp. l'istrumento e qualche lettura fatta su l'istrumento, si può valutare il pot. lum. di una delle sorg. risp. all'altra.

Realmente è — in parte — un rinnovamento dalle basi quello che si è operato nella fotometria durante la seconda metà del secolo XIX; rinnovamento

(1) Del Rumford, appartengono infatti a quell'epoca le monografie: « *Experiments on the relative Intensities of the Light emitted by luminous Bodies* » comunicazione letta alla *R. Soc.* il 6 febbr. 1794; « *An Account of some Exsperiments on Coloured Shadows* » l. alla *R. Soc.* il 20 febbraio 1794; un articolo « *Conjectures respecting the principles of the Harmony of Colours* » pubblicato, crediamo, la prima volta nei *Rumford's Philosopichal Papers*, Londra, 1802, p. 333 a 340 del Vol. I — vol. unico, in realtà, giacchè il II, che doveva contenere le lettere, non venne mai pubblicato — ma che dal contesto appare scritto subito dopo la monografia citata relativa agli esperimenti su le ombre colorate; e finalmente « *An Inquiry into the Chemical Propriertes that have been attributed to Light* » l. alla *R. Soc.* il 14 giugno 1798. Tutte queste monografie — insieme alla lunga memoria relativa alla regolazione della luce nella illuminazione, letta all'Accademia di Francia nel giugno 1811, ed all'altra sulla *Source of the Light which is manifested in the Combustion of Inflammable Bodies* letta alla *R. Soc.* di Londra nel gennaio 1812 — e che ricordiamo giacchè ce ne è offerta la opportunità — sono raccolte nel Vol. IV della edizione delle opere del Rumford fatta dalla *American Academy of Arts and Sciences* — Boston, 1875 —.

(2) V. Nota antecedente.

(3) Tutte in *Ann. de Ch. et de Phys.*: le prime due, lette all'*Ac. d. Sc.* il 19 febbr. e 5 ag. 1844, sono nel T. XIV, a. 1845, p. 129 a 195; la terza in T. XXX, a. 1850, p. 5 a 55; la quarta e la quinta, l. all'*Ac. d. Sc.* il 30 dic. 1850 e 3 febbr. 1851, in T. XXXI, a. 1851, p. 259 a 326; e la sesta — estratto di un lavoro premiato e pubblicato dalla Soc. Reale delle Scienze di Haarlem — in T. XLV, a. 1855, pag. 385 a 454.

cominciato, si può dire, col concetto ispiratore del *fotometro analizzatore* del Govi (1) e finito nel 1896 con la *Conferenza Internazionale degli Elettricisti* tenuta a Ginevra in cui vennero definiti i concetti e stabilite quelle unità di misura senza delle quali non era possibile nè rendere comparabili le varie esperienze, nè dare alla fotometria quella portata di cui aveva bisogno anche la pratica, specialmente dopo l'estendersi della illuminazione elettrica (2).

È l'opera del Cornu, del Crova, del Mascart, del d'Arsonval, dell'Helmholtz del Melander, del Violle, che ha fornito istrumenti e metodi sicuri e spediti, che ha stabilito bene l'influenza degli elementi soggettivi dell'osservatore, che ha dato alla tecnica la definizione di elementi indispensabili a che le misure fotometriche avessero un significato chiaro e potessero servire alla scienza ed all'industria. Così agli *spettrofotometri* — alcuni a luce polarizzata, altri a luce naturale — dei fisici testè nominati, si andarono aggiungendo i fotometri preziosi del Weber per le potenti lampade ad arco e del Pickering per le nebulose; del Messerschmidt per lo studio dei sensibilizzatori fotografici; quelli di Lummer e Brodhun, del Joly, del Lehman, del Latschinoff, di Ayrton e Perry,

(1) « *Note sur un photomètre analyseur* », in *C. R.*, T. L, a. 1860, p. 156 a 158 Decomponendo le luci da paragonarsi mediante prismi, il fotometro del Govi rendeva possibile l'istituire il confronto tra luci realmente comparabili. L'idea era già venuta al Fraunhofer e ad altri: il Govi stesso l'aveva concepita — come narra egli medesimo — fino dal 1850 assistendo ad esperimenti del Despretz; ma il fotometro del Govi ha una vera importanza tutta speciale in quanto può riguardarsi come il capostipite degli squisiti *spettrofotometri* moderni.

(2) Nei vari congressi internazionali degli elettricisti le questioni della fotometria avevano fatto oggetto di studi e discussioni, ma non si era mai potuto giungere a conclusioni esaurienti. La stessa *Camera dei Delegati* dei Governi riunita a Chicago nel 1893, mentre aveva potuto procedere ad una rettifica del valore dell' *ohm* — unità di misura delle resistenze elettriche — e dare definizioni precise di tutte le altre grandezze interessanti l'elettrotecnica, aveva dovuto sospendere ogni deliberazione in merito all'unità di luce, sebbene avesse pure avuto luogo un'ampia discussione, a cui avevano partecipato uomini come l'Helmholtz, il Mascart, il Violle, il Lummer, il Thompson, e vi si trovassero il Rowland, il Ferraris, A. Siemens, il de la Tonanne, il Carhart, E. Thomson, ed insomma una parte veramente eletta degli scienziati e dei tecnici dei due mondi. Si fu tre anni dopo, a Ginevra, che la fotometria ebbe nomenclatura ed unità definitive. Lasciate da banda le deliberazioni dei congressi di Parigi del 1884 e del 1889 — nel primo era stata adottata come unità assoluta quella del *campione Violle*, ossia la radiazione emessa normalmente dalla superficie di un centimetro quadrato di platino alla temperatura di solidificazione; nell'altro era stata adottata come *campione secondario* la *candela decimale*, fissata in $\frac{1}{20}$ del campione Violle — la conferenza di Ginevra stabiliva quanto segue: « 1.° Le grandezze fotometriche internazionali hanno per base l'intensità luminosa di una sorgente puntiforme: esse sono riassunte nel seguente quadro:

Grandezze	Nome dell'unità corrisp.	Grandezze	Nome dell'unità corrispondente
Intensità luminosa	*Candela decimale*	Splendore	*Cand.ª decim.ᵉ per cm. quad.*
Flusso luminoso	*Lumen*	Illuminazione	*Lumen-ora*
Illuminamento	*Lux* = $\frac{\textit{Lumen}}{\textit{metro quadrato}}$		

2.° l'unità d'intensità luminosa è la candela decimale.

3.° provvisoriamente la candela decimale potrà essere rappresentata, per i bisogni dell'industria, dall'intensità luminosa orizzontale della lampada Hefner a condizione che sia tenuto conto delle correzioni necessarie.

A dilucidazione diremo che il *lumen* è il flusso luminoso inviato da un punto avente l' intensità luminosa di una candela decimale, entro un angolo solido avente il vertice nel punto, e che, di una superficie sferica avente il centro nello stesso punto, comprende una parte di area uguale al quadrato del raggio. Aggiungeremo che la lampada Hefner Altenek, alla quale si riferisce la deliberazione della conferenza di Ginevra — è uno dei campioni che erano in uso corrente, insieme alla vecchia *Carcel* consumante 42 grammi di olio di colza all'ora, bruciante con lucignolo di dato tipo e forma ed in determinate condizioni, così da dare fiamma di 40 mm. di altezza; alla *candela normale tedesca* di parafina — da 12 il chilogrammo, con fiamma alta 50 mm. —, ed alla *candela inglese* — di spermaceti, da 6 alla libbra inglese di 453,59 grammi e con fiamma di 45 mm. —. La Hefner-Altenek è una lampada in cui si brucia *acetato d'amile*, ed il campione deve essere regolato in modo che si abbia una fiamma alta 40 mm. mediante un lucignolo riempiente completamente un tubo circolare di argentana del diametro interno di 8 mm., ed avente una lunghezza libera di 25 mm.

le varie modificazioni di quello del Bunsen, od altri istrumenti, come il *lumenmetro* del Blondel, applicabili alle sorgenti di luce ordinarie. E gli studi del Crova, del Nichols e di altri permisero — col fissare, sia la importanza di rapporti tra radiazioni determinate, sia la composizione e lo spessore di diaframmi colorati solidi o liquidi — di semplificare questioni assai complesse, come quelle relative al potere luminoso di sorgenti ordinarie di luce a tinta diversa. Onde, le misure fotometriche sono diventate di uso corrente nei laboratori industriali, nè più nè meno delle altre sui pesi o sui volumi, mentre apparecchi come quello degli americani Houston e Kennely consentono di valutare molto speditamente — ed in modo sufficiente per la pratica — l'illuminamento di un punto di una sala o di uno spazio scoperto illuminato da un numero qualunque di focolari luminosi, e formole, quali le diedero il Palaz, il Blondel, il Voit, consentono perfino di dedurre l'intensità luminosa massima di un arco voltiano dalla grandezza della corrente elettrica che lo alimenta, o la intensità media sferica, ancora delle lampade ad archi — usuali —, dalla massima e da quella in direzione orizzontale, o la potenza luminosa delle lampade ad incandescenza dalla energia che esse sono destinate ad assorbire.

Il *fotometro* di Ayrton e Perry.

Legg. espl. — Le due sorgenti di luce da confront. — nella nostra figura sono una candela ed un arco voltaico — proiettano ciascuna, su un med. schermo, un'ombra di un'asticina verticale, Di una delle sorg. lum. i raggi sono, per ciò, riflessi da uno specchio piano e dispersi med. una lente. Si regolano le cose iu modo di avere ombre di uguale intensità, e med. una formola si deduce il pot. illum. relat. delle due sorg. luminose. Se esse non hanno uguale tinta, si fanno due osserv. — l'una attrav. ad un vetro verde, l'altra attrav. ad un vetro rosso; — dei due poteri illuminanti così ottenuti si fa poi la media.

Dalle cose dette risulta poi implicitamente che i progressi della fotometria sono collegati con quelli degli studi su la visione, altro ordine di attività in cui la scienza ha progredito, durante il secolo XIX, in modo meraviglioso.

Già sul bel principio del secolo vedeva la luce un lavoro magistrale del Young sul meccanismo dell'occhio (1), e d'allora furono ideate esperienze le più geniali, affrontate — ed in gran parte risolte — questioni le più ardue. Così il Wardrop — 1826 — rendendo la vista ad un adulto, che l'aveva perduta all'età di sei mesi, constatava come le sensazioni degli oggetti non avessero valore che dopo intervenuta la educazione mediante il tatto; l'Aimé — 1834 — con due dischi di cartone coassiali, ruotanti in senso inverso — munito l'uno, sul contorno, di finestrelle uguali ed equidistanti, l'altro di una sola fenditura radiale — riusciva a misurare la durata della sensazione visiva; il Plateau, con lo stesso metodo, stabiliva come la sensazione non sia completa che ove l'impressione duri un certo tempo, che essa persiste per qualche millesimo di secondo, che la sua durata media è di 84 centesimi di secondo, ma che cotesta durata aumenta con lo splendore della luce incidente; il Boll — 1876 — ed il Kühne — 1877 — fissavano in maniera durevole le traccie

(1) « *On the Mechanism of the Eye* » in *Phil. Trans.*, a. 1801, Parte I, p. 23 a 88. A pag. 35 vi è descritto l'*ottometro* inventato dal Young.

delle modificazioni che la retina subisce per effetto dell'impressione luminosa; l'uno constatando che essa è di un rosso porpora nella oscurità e si scolora per l'azione della luce, l'altro fissando — con un vero trattamento da fotografia — su quella di un coniglio l'immagine di una inferriata da finestra, davanti alla quale il coniglio era stato ucciso con l'occhio aperto dopo averlo preventivamente tenuto per molto tempo nella oscurità.

Due nomi, poi, sono particolarmente gloriosi: quello del Plateau e quello dell'Helmholtz.

Il primo fino dal 1829 studiava mediante i dischi rotanti la questione della composizione dei colori; studiava quindi — 1838 — i fatti dell'*irradiazione*, (1) assegnando anche la legge dal crescere essa in rapporto minore della intensità d'illuminazione; faceva lavori numerosi e completi su le durate delle sensazioni luminose, come già si ha detto; studiava i fenomeni di sovrapposizione delle curve luminose determinando il curioso principio generale (2) relativo ad essi; esaminava — 1849 — i fatti relativi alla *vertigine* visuale (3), alle oscillazioni delle immagini accidentali, ed alle loro oscillazioni colorate. Ed a lui si devono le invenzioni interessanti del *fenakisticopio* (4) e dell'*anortoscopio* (5). Che se non tutte le questioni trattate dal Plateau ebbero risoluzione completa da lui, la traccia ch'egli lasciò è quella riservata ai grandi, e tanto più meravigliosa quando si ricorda che la maggior parte della di lui vita trascorse nella completa cecità.

Gauss.
Dall'ediz. delle opere del sommo matematico fatta a cura della Reale Accad. delle Sc. di Gottinga.

Quanto all'Helmholtz, ascoltiamo il Du Boys-Reymond che gli fu amico e compagno di lavoro. Parlando della scoperta del Brücke relativa a ciò che si chiama lo scintillamento degli occhi — come quello caratteristico del gatto e del gufo — dopo avere ricordato osservazioni del Brücke e dell'Erlarch, ad alcune delle quali egli stesso aveva avuto parte, scrive: « Nous n'allâmes pas plus loin; mais Helmholtz, avec son esprit de recherche, pensa que la lumière diffuse ainsi réfléchie devait jouer un rôle dans la vision, et cette idée le conduisit, par analogie au téléscope de Galilée, à sa théorie de la vision, qui avec la théorie de la conservation de l'énergie, a le plus contribué à sa gloire ». E prosegue: « Jamais un homme n'avait réuni une connaissance aussi approfondie de l'optique mathématique à une conception aussi

(1) Il parere più estese di quel che siano le superficie illuminate, minori del vero le oscure.

(2) Il principio di cui si tratta può formularsi con l'Helmholtz come segue: « Quando due curve luminose ruotano nel campo visuale con velocità bastante a produrre la illuminazione costante della superfice da esse descritta, si vede, in codesto campo luminoso, una linea oscura che congiunge i punti d'intersezione successivi delle curve, purchè la luce dell'una non possa attraversare l'altra.

(3) Lo spostarsi apparente degli oggetti in riposo dopo che furono fissati per qualche tempo degli oggetti mobili; il moto *apparente* è di senso opposto a questo.

(4) V. p. 109 e 110.

(5) Consta di due puleggie di diametro disuguale, mobili — indipendentemente l'una dall'altra — sul medesimo asse, e messe in moto da due cordoni senza fine passanti entrambi per le gole di un volantino orizzontale, mobile esso stesso mediante una manovella. Una delle puleggie porta un disegno deformato, l'altra un disco nero munito con una o più fessure: facendo muovere i dischi si vede il disegno nella forma esatta.

nette des conditions anatomiques de la vision; aussi, dès cette époque, élucida-t-il nombre de questions relatives à l'optique. Il s'attaqua tout d'abord à la composition des couleurs et particulièrement des couleurs du spectre; il expliqua les mélanges des couleurs, réfuta la nouvelle analyse de la lumière solaire donnée par Brewster, étudia la formation des images postérieures et le daltonisme, montra la fausseté de l'explication admise pour le phénomène d'irradiation, decouvrit la fluorescence du cristallin et de la rétine. Il

Una fabbrica moderna di lenti di precisione.

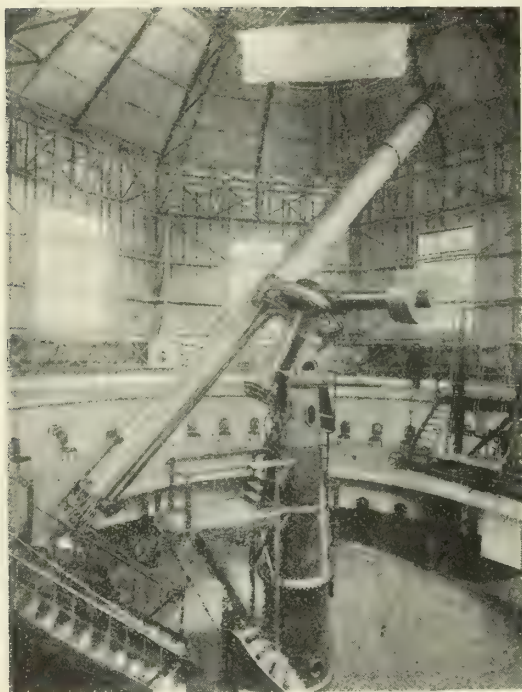
Istituto Ottico Meccanico Koristka in Milano.

Legg. espl. — Da sinistra verso destra: 1.° : piano di sbozzamento dei cristalli; 2.° : tornio per la lav. della curvat. delle lenti: sul tornio si ved. varie forme per la lav. delle curv., e dei pezzi di crist. greggio; 3.°, 4.°, 5.°, 6.°: centramento delle lenti (tornitura della sup. cilindr.); 7.°, 8.°, 9.°, 10.°: lav. della curv. su torni ad asse vert. med. le forme fig. sul tornio del 1.° oper.; 11.°: centramento delle lenti; 12.°: lav. curv. delle 1.

Da destra verso sin.: 1.°: lav. curvat. delle lenti. La lente viene attaccata con ceralacca per una delle sue superf. ad un bastoncino di vetro, che fa da manico: tenendola appogg. entro la forma posta sull'asse vertic. del tornio — forma ruotante rapid. e su la quale si è messo un po' di polv. di smeriglio spapp. in acqua — viene smerigl. in modo che prenda la controforma esatta di quelle nelle quali è prem.; 2.°: misur. lenti e loro collaudo med. forme e calibri di precis. e valendosi degli anelli di Newton; 3.° e 4.°: pulim. superf. lenti mettendo su le forme del rossetto invece che dello smeriglio; 5.°, 6.°: lav. curv. lenti; 7.°: lav. sup. piane dei cristalli.

s'attaqua de méme au difficile problème des mouvements des l'oeil et de la vision binoculaire, inventa le télestéréoscope, résolut completement le célèbre problème de l'horoptère (1), fit revivre la théorie de Thomas Young des trois couleurs fondamentales: rouge, vert et violet. etc.». E conclude: « C'est chose impossible que d'énumérer en détail les travaux de Helmoltz en matière d'optique physiologique; fort heureusement il nous a laissé à cet égard un véritable monument, son *Manuel d'Optique physiologique* (2), oevre magi-

(1) Il problema a cui accenna il Du Bois Reymond è così annunciato dall'Helmholtz — *Optique Physiologique*, Paris, Masson, a. 1867, pag. 901 —: « Après avoir determiné la position des points correspondants dans les deux champs visuels, nous pouvons rechercher la position des points de l'espace qui se présentent sur des parties correspondantes des deux rètines et qui paraissent, par conséquent, simples. L'ensemble de ces points porte le nom d'*horoptère.* »

(2) La grande opera venne pubblicata in diverse riprese. La prima parte, comprendente la *descrizione anatomica dell'occhio* e la sua *diottrica* — leggi della rifrazione nei sistemi di superfici sferiche, rifrazione dei raggi nell'occhio, immagini di diffusione su la retina, meccanismo dell'accomodazione, dispersione dei colori nell'occhio, astigmatismo, fenomeni entottici, scintillamento dell'occhio e oftalmoscopio — fu pubblicata nel 1856. La seconda, che tratta delle *Sensazioni visuati* —, eccitazione dell'apparato nervoso visuale, eccitazione, prodotta dalla luce, colori semplici, colori composti, intensità e durata della sensazione luminosa, modificazioni

strale, dans laquelle, descendant jusqu'au moindre détail, étudie systématiquement et de la manière la plus complète, cette branche de la physiologie, depuis les principes mathématiques de l'optique, jusqu'aux considérations théoriques et esthétiques de l'ordre le plus élevé. On peut dire sans exagération que, dans aucune langue, la littérature scientifique ne possède un livre qui puisse être comparé à celui-là ».

Il grande *refrattore* dell'osservatorio imperiale di Poulkova.
Da pubblic. dell'Osservatorio.
Legg. espl. — Fig. 1. Ved. d'assieme: all'oculare è rappres. Otto Struve, l'illustre astronomo che curò la esec. dell'equatoriale. Di cotesto grande telescopio — il primo, cronologicam., dei grandi refrattori mod. — il vetro dell'obiettivo fu forn. dalla Casa Feil di Parigi, e la lav. venne fatta da Alva Clarck di Cambridge nel Massachusets: l'ob. stesso ha 76 cm. di diam e circa 16 m. di dist. e foc., fu compiuto nel 1883. La montatura del telesc., una meraviglia della mecc. e della estetica, venne eseg. dalla Casa Repsold di Amburgo.

Nessun giudizio poteva farsi più vero che cotesto del grande fisiologo di Berlino. Riferendoci poi all'ultima parte del secolo, ricorderemo anche i nomi di Mascart, Charpentier, Chauveau, Baudry, Cusco, Gariel, Egoroff, Sagnac, Weinhold, Droop, Peirce, König e Dieterici; degli americani Langley, Nichols, Ferry, Mayer, Allen; di Lisleferme, Javal, Straubel, Tscherning, Henry, Abney, Petrouchewsky, Rosenstiehl, tutti meritevoli di menzione, o per la delicatezza delle questioni affrontate, o per la squisitezza dei risultati ottenuti, o per l'interesse pratico degli studi (1).

Ne sembra insomma di poter riassumere il lavoro del secolo XIX in quanto all'occhio ed alla visione per il lato fisico col dire che l'occhio venne studiato

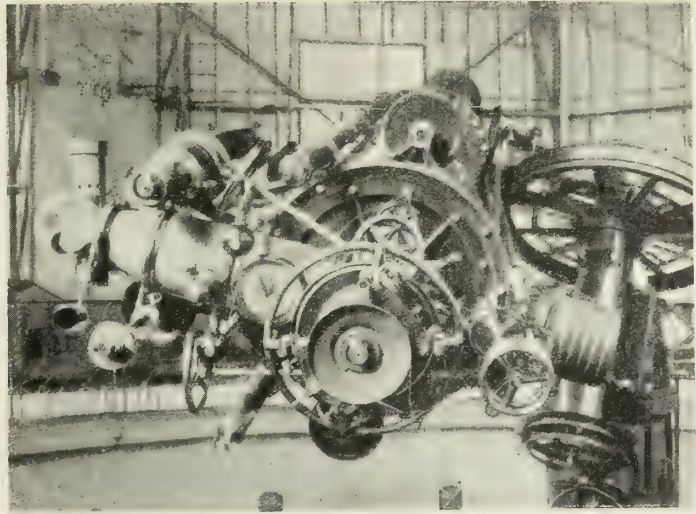
della eccitabilità nonchè vari fenomeni soggettivi —, apparve nel 1860. Finalmente la terza vide la luce in due fascicoli al principio ed alla fine del 1866: essa tratta delle *percezioni visuali* — percezioni in generale, moti degli occhi, campo monoculare della visione, direzioni visuali, percezione della profondità, diplopia binoculare, antagonismo dei campi visuali, esame critico delle teorie —. Del ritardo con cui fu pubblicata l'ultima parte dice l'Helmholtz stesso la ragione principale: essa fu inerente al soggetto. « Infatti » egli scriveva « precisamente in questi ultimi anni lo studio delle percezioni visuali è stato oggetto di grande numero di lavori, ed è da poco tempo che si può farsi un'idea della ricchezza e del profondo interesse che offre codesto soggetto ».

(1) Il Mascart — 1893 — misurava il ritardo con cui si manifesta l'impressione luminosa, trovandolo di circa un venticinquesimo di secondo, e più debole di circa un centesimo di secondo per il rosso che non per le altre tinte. Il Charpentier — 1893 — stabiliva i segni di reazione della retina contro l'impressione luminosa. Il Chauveau, — 1893 — contrariamente alla opinione dell'Helmholtz provava la fusione di due colori diversi che colpiscano le due retine in punti corrispondenti. Il Baudry — 1897, Congresso Internazionale di Medicina tenuto a Mosca — pubblicava studî interessanti di diplopia monoculare e binoculare, ed indicava come si possa scoprire la simulazione della cecità unilaterale. Il d.r Cusco inventava una lente deformabile — a pareti di vetro, ripiena d'acqua — con cui studiava le deformazioni del cristallino nell'accomodazione; il Gariel — 1881 — la illustrava, l'Egoroff — 1889 — la perfezionava sostituendo la gelatina al vetro, il petrolio all'acqua. Il Sagnac — 1897 — studiava illusioni ottiche speciali, mostrando come sia possibile mettersi al coperto, nell'uso degli istrumenti ottici, da alcune categorie di errori dipendenti da difetto di accomodazione. Il Weinhold — 1878 — studiava la questione tanto complessa della percezione dei colori, arrivando alla conclusione che a darne ragione non possono bastare nè la teoria del Young — ripresa dall'Helmholtz e dal von Bezold — della sovrapposizione di due o tre colori fondamentali — il rosso, il verde e l'azzurro-violetto — nè quella dell'Hering dell'*assimilazione* e *dissimilazione* — secondo la quale l'eccitazione luminosa dipenderebbe da una vera azione chimica, che per alcuni colori sarebbe in un senso, p. es. decom-

profondamente come strumento di ottica — per quanto spetta alle parti di cui si compone, alle loro forme, dimensioni, potere rifrangente, ufficio, difetti — e che, se su la visione rimangono ancora punti oscuri o dubbi, essi non toccano se non i particolari secondarî, mentre la scienza possiede ormai una serie di istrumenti di precisione con cui occhio e visione possono essere studiati meglio che l' organo dell' udito ed il suono.

Una semplice parola su

Il grande *refrattore* dell'osservatorio imperiale di Poulkova.
Da pubblic. dell'Osservatorio.
Fig. 2. Il refrattore veduto in iscorcio dalla parte dell'oculare.

posizione, per i complementari nell'opposto, o ricomposizione —; ma occorrerebbe una teoria mista. L'inglese Droop — 1883 — esponeva fatti osservati su individui affetti da daltonismo e da cui sarebbe infirmato l'avviso dell'Helmholtz e del Maxwell che i colori fondamentali si riducano a tre: l'americano Peirce stabiliva che l'occhio ha il suo massimo di sensibilità, nel valutare differenze di tinte, per il giallo — verso la riga $\mathcal{D}$ — nel quale può distinguere l'uno dall'altro raggi differenti di *un milionesimo* di millimetro nella lunghezxa dell'onda, e che due altri massimi secondari si hanno, l'uno verso la righa F — al principio dell'azzurro — l'altro verso la riga rossa del litio; andamento confermato tosto — 1884 — da König e Dieterici. Il Langley — 1888 — studiava la quantità di energia occorrente a produrre la visione distinta con le varie specie di colori, e riusciva a risultati, che, tradotti in linguaggio più facile, vengono a dire come la quantità di lavoro occorrente per sollevare un chilogrammo all'altezza di un metro basta per produrre, nella parte più brillante dello spettro, 70.000.000.000.000.000 di volte la sensazione luminosa; ed ideava — 1889 — di rendere più sicura la determinazione dell'istante in cui si producono certi fenomenti improvvisi, col fissare, non il *quando* essi si proiettino su lo sfondo, sul quale li vediamo, ma il *dove*. Il Nichols — 1884 — con un metodo nuovo in gran parte — osservava ciascuna parte dello spettro in uno spettroscopio, frapponendo tra esso e l'occhio un disco nero con quattro finestrelle, equidistanti tra loro e vicine alla periferia, ruotante con velocità crescente gradatamente fino a che otteneva una impressione continua — prendeva in esame la durata delle impressioni della retina, arrivando a risultati confermanti quelli del Plateau; ed il Ferry, applicando il metodo del Nichols — 1892 — stabiliva che la durata della persistenza retiniana è inversamente proporzionale alla sensazione, ed indipendente dal colore, quando i colori siano portati allo stesso grado di luminosità; che nelle persone le quali, a mo' d'esempio, non vedono il verde — daltonismo — le impressioni verdi persistono più delle altre, le rosse un po' meno, le rimanenti hanno durata normale; onde un modo preciso e pratico d'apprezzare il daltonismo. L'Allen — 1900 — ancora su la persistenza della visione per diverse radiazioni, eseguiva ricerche veramente importanti, tra le cui conclusioni è singolare il fatto — inesplicato — che il riposo della retina e la sua stanchezza operano ugualmente nell'aumentare la persistenza dell'immagine, qualunque sia il colore; ed il Mayer — 1892 — dava un buon indirizzo alla fotometria per la misura delle intensità delle luci di diverso colore. Il Lisleferme — 1877 — studiava analiticamente una interessante illusione ottica — l'apparente inversione di prospettiva di un oggetto alquanto lontano osservato col cannocchiale — ed altrettanto faceva alla stessa epoca il Javal per l'astigmatismo, per la cui misura lo Strambel ideava poi — 1898 — un istrumento opportuno. Lo Tscherning — 1893 — dimostrava che nell'occhio umano, oltre la immagine retiniana e le tre catottriche — formantisi, cioè, per riflessione — dette di Purkinje, ne esistono altre tre, di cui una — dovuta a riflessione della cornea — era stata descritta dal Purkinje al principio del secolo, poi perduta di vista — l' Helmholtz stesso non era riuscito a trovarla —. L'Henry studiava — 1898 — la curiosa maniera di produzione dei colori scoperta dal Benham — un disco circolare per metà nero, è bianco per l'altra metà e presenta quattro settori circolari da 45°, su ciascuno dei quali son tracciati tre archi concentrici il cui raggio decresce dall'uno all'altro settore; se il disco, con piccola velocità, ruota nel senso delle lancette dell'orologio, i quattro gruppi di archi concentrici presentano l'aspetto di cerchi intensamente colorati in rosso, giallo, verde, azzurro; ed i colori si invertono se la rotazione avviene in senso opposto —. E non ci paiono da dimenticarsi nè l'Abney, che — 1892 — metteva in luce il fatto curioso che tra i raggi deboli sono primi avvertiti gli azzurri ed i verdi; nè il Petrouchewsky a cui si devono — 1885 — studi importanti su la percezione dei colori alla luce artificiale, od il Rosienthel che fino dal 1878 trovava un metodo semplice e pratico — l'uso di un disco rotativo — per l'analisi dei neri del commercio.

fenomeni ottici dell'atmosfera. Il Biot — 1810 — il Bravais — 1852 e 1853 — il Tait — 1882 — vogliono essere ricordati come i fisici che si occuparono del miraggio, illustrando e completando la teoria del Monge: Macé de Lépinay e Pérot in Francia — 1892, — Wood in Inghilterra, come ideatori di esperienze eleganti per riprodurlo nella scuola o nel laboratorio — i primi valendosi di liquidi con cui si possono realizzare le condizioni di rifrangibilità che si hanno nell' aria per effetto della temperatura crescente verso il suolo, l'altro col *deserto* artificiale formato con lamine metalliche insabbiate, riscaldate opportunamente. — Su l'arcobaleno, il Young, primo, indicava nelle interferenze la ragione degli *archi supplementari* — le striscie colorate che si mostrano all'interno del primo arco ed all'esterno del secondo — L'Airy faceva dell'arcobaleno la teoria matematica completa, riuscendovi col considerarlo come fenomeno in cui ha parte precipua la diffrazione. Lo Stokes, il Mascart e l'Ekama molto più recentemente — 1891 e 1897 — perfezionavano cotesta teoria, a cui il belga Delsaulx — 1882 — aveva dato forma maggiormente piana, didattica, ed a cui ultimamente — 1898 — il Macé de Lépinay portava il contributo di lavoro — pure di analisi — importante su le frangie delle caustiche e gli archibaleni soprannumerari. Il Marucci — *Nuovo* Cimento, a. 1897, T. VI — ideava un ingegnoso apparecchio per dimostrare l' andamento dei raggi nella splendida meteora e la dipendenza di quelli *efficaci* dal colore: l'Ekama, per verificare i risultati dei suoi studi, immaginava di usare bacchette cilindriche di vetro di diverso diametro, ed il Tyndall alcuni anni avanti — 1884 — mediante polverizzatori a solfuro di carbonio, a soluzioni metalliche, ad essenze di petrolio e di terebenteno, riproduceva artificialmente non solo l'arcobaleno, ma anche i cerchi di Ulloa e gli spettri del Broken. Altrettanto faceva poco dopo il Cornu per gli aloni, dei quali la teoria — stabilita da Fraunhofer, Brewster, Galle, Babinet, Bravais — indicava la cagione negli aghetti e nelle laminette di ghiaccio nuotanti nell'atmosfera: il Cornu ingegnosamente ne proiettava la riproduzione col porre — sul cammino del fascio di raggi destinato a dare, appunto per proiezione, l'immagine di un piccolo disco raffigurante il sole — una vaschetta piena di una soluzione acquosa di allume, precipitante, mediante alcole allungato, in cristallini analoghi — per ufficio — a quelli di ghiaccio nuotanti nell'atmosfera.

Menzioneremo da ultimo le esperienze del Bravais sui parantelii — le macchie luminose che si osservano qualche volta nella regione del cielo opposta al sole, sul cerchio parelico — e le illustrazioni che delle esperienze del Bravais dava — 1887 — il Sorel.

V.

Gli Istrumemti di Ottica.

Da lavori insigni di teoria quali quelli che si sono andati accennando, o come le classiche *Dioptrische Untersuchungen* del Gauss (1), e dall'opera altamente benemerita di una falange di ottici e costruttori abilissimi, quali Fraun-

(1) Mem. presentata alla Soc. Reale delle Scienze in Gottinga il 10 dicembre 1840 e pubbl. nel Vol. I, a. 1843, di quelle *Abhandlungen* Riprodotta nel T. V — pag. 243 a 312 — della edizione completa delle opere del Gauss eseguita a cura di quella Accademia.

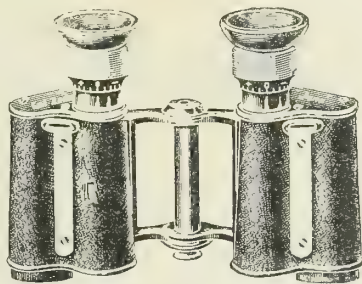
hofer, Stheinheil, Merz, Duboscq, Soleil, Pellin, Dallmayer, Hartnack, Zeiss, Porro (1), Salmoiraghi, Koristka, è venuta quella congerie di istrumenti di ottica che costituiscono una vera gloria del secolo XIX.

Sono cannocchiali perfezionati, telescopi e microscopi meravigliosi, teodoliti di altissima precisione, fari e proiettori potenti, obbiettivi fotografici, apparecchi da proiezioni macroscopiche e microscopiche, sestanti, eliostati. sono, in una parola — vorremmo quasi dire — innumerevoli oggetti di ammirazione per lo stesso scienziato, di cui lo spirito indagatore può riposare su la fede dei loro responsi, a motivo della perfezione a cui è giunta l'arte nel comporre e fondere vetri, nel lavorare e specchi e lenti e prismi, nel dare agli assi la direzione che devono avere, nell' ottenere la maggiore squisitezza di precisione in ogni movimento.

Fig. 1. Fig. 2.
Un *binocolo* Zeiss.

Legg. espl. — Fig. 1: ved: d'assieme; fig. 2 andam. dei raggi in uno dei cannocchiali.

Solo, infatti, una grande perfezione in cotesti diversi rami della tecnica poteva rendere possibile la costruzione degli imponenti e squisiti *equatoriali* di cui si valgono oggi gli astronomi di Poulkova, di Vienna, di Parigi, di Nizza, di Mount Hamilton in California, di Geneva Lake nel Wisconsin (2); veri colossi che la meccanica poi ha saputo rendere pari a fuscelli in quanto a facilità nell'obbedire al meccanismo da cui sono costretti a seguire la volta celeste nel suo moto apparente; colossi, che la mano muove — e l'occhio interroga — con tutta facilità — e sicurezza —.

Negli osservatorî il secolo XIX ha veduto anche impiantarsi enormi telescopi del tipo a specchi — o *catottrici* — come quello celebre di Lord Rosse nel parco di Parsonstown in Irlanda (3); tipo che, dopo essere stato abban-

(1) Ignazio Porro, instauratore del moderno metodo del rilevamento, inventava e costruiva strumenti nuovi destinati a portare nella pratica i nuovi procedimenti che col nome di *Celerimensura* egli stesso propo neva dalla cattedra e con gli scritti; e per graduare i circoli dei nuovi tacheometri perfezionati — clebs, com'egli li ebbe chiamati — costruiva per « La Filotecnica » — l'officina da lui fondata, e diretta poi e portata a grande importanza e fama dal più illustre allievo del Porro, l'ing. A. Salmoiraghi — una macchina di divisione che fu a lungo — ed è forse tuttora — oggetto d' invidia ai costruttori stranieri: con essa si possono tracciare 4000 tratti microscopici su circoli di un diametro di circa quattro centimetri, con una precisione che corrisponde in media a circa *un centomillesimo* del raggio, o, ciò che vale lo stesso, con un errore massimo di *mezzo millesimo di millimetro.* Al Porro si devono ancora: l'*oculare elioscopico*, col quale, approffitandosi della polarizzazione — ottenuta con una doppia riflessione — si arriva ad estinguere, fino al punto necessario per osservare direttamente, la luce del sole, e che ebbe subito la sanzione della benemerenza per l'uso che ne fece il p. Secchi; la prima idea degli apparecchi da proiezione a *tavolino*; nonchè una eccellente disposizione del prisma a riflessione totale per raddrizzare immagini, la quale ha trovato estesissima applicazione nei novissimi tipi di binocolo. L'opera del Porro fu degnamente continuata e sviluppata dal Salmoiraghi, per cui lo Schiaparelli trovava i grandi obbiettivi del Salmoiraghi paragonabili a quelli del Merz; e, parlando di risultati di osservazioni fatte con essi, diceva che dopo l'Amici nessuno più in Italia aveva potuto conseguirne di simili. Giustamente fu scritto in un'importante ed autorevole documento ufficiale — la relazione della Giuria dell'Esposizione Nazionale di Torino nel 1884 — che l'Officina del Salmoiraghi « può competere colle officine estere di fama mondiale quali sono quelle di Ertel, Starke u. Kammerer, Martins und Pistor, Repsold, Merz, Troughton and Simms ».

(2) Quei refrattori hanno obbiettivi del diametro da 76 centimetri circa — Poulkova, Vienna, Parigi, Nizza — a 96 — Osservatorio Lick a Mount-Hamilton — e 105 — Osservatorio Yerkes a Geneva Lake e la loro lunghezza va da 16 a 22 metri.

(3) Lo specchio metallico di quel telescopio aveva il diametro di $1.^{m}83$, ed il peso di 40 quintali.

donato, ritornò in onore quando — al principio della seconda metà del secolo — il Foucault ebbe trovato il modo di costruire specchi di precisione in vetro argentato (1); cosicchè ora cotesti telescopi — migliorati anche, come avvenne per opera di Paolo e Prospero Henry, rispetto a quella uniformità di distribuzione di temperatura nell'interno del tubo che è necessaria perchè la rifrazione non vi alteri l'andamento dei raggi — rendono segnalati servigi in osservatori importanti quali quelli di Parigi e di Melbourne.

Tornando ai refrattori, ricordiamo il rivivere del canocchiale di Epino

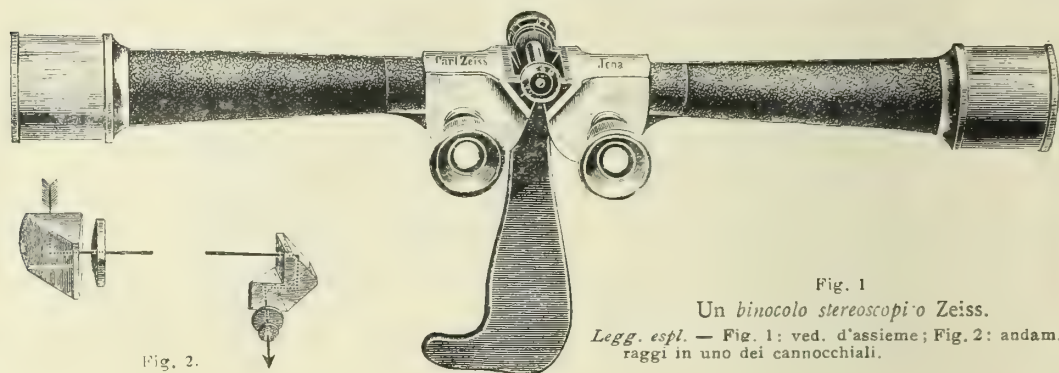



Fig. 2.

Fig. 1
Un *binocolo stereoscopico* Zeiss.
Legg. espl. — Fig. 1: ved. d'assieme; Fig. 2: andam. dei raggi in uno dei cannocchiali.

— pag. 331 — negli *equatoriali spezzati*, la cui idea venne al Loewy nel 1869, ma di cui il primo fu impiantato solo nel 1882 — a Parigi — e dei quali — col tubo ripiegato ad angolo retto e uno specchio piano al vertice — mentre una parte — quella recante l'obiettivo — si muove, seguendo la vôlta celeste nel suo moto apparente, l'altra — quella che porta l'oculare — occupa sempre il medesimo posto, evitando all'astronomo e dei perditempi e quella incomodità di certe posizioni della persona che si traduce in un peggioramento delle condizioni fisiologiche nelle quali si fa l'osservazione.

E con tutti cotesti istrumenti mettiamo quelli che servono alle osservazione dei passaggio delle stelle al meridiano — meravigliosi non meno per la squisitezza della fattura, per la precisione che consentono nelle letture — mettiamo gli spettroscopi stellari, mettiamo gli equatoriali fotografici con cui si fissano e l'aspetto e la posizione relativa di quanto vediamo nel cielo, ed anche — mercè la durata grande dell'esposizione — di quanto — per tenuità di luce che ne emana — si sottrae completamente alla visione.

Nomineremo solo — senza soffermarvici — come istrumenti ottici che ebbero grande perfezionamento, i cannocchiali terrestri ed i binocoli — la cui costruzione venne studiata in modo da farne tipi rispondenti anche ad esigenze speciali, quali quelle delle osservazioni *da campo*, *da caccia*, *da marina*, e dei quali verso la fine del secolo meravigliarono la piccolezza, la leggerezza, la potenza, la nitidezza in quelli a prisma — singolarmente perfezionati dallo Zeiss col tipo *stereoscopico*, applicabile anche come *misuratore di distanze* —.

(1) Lo specchio ha su la lente il vantaggio di non presentare iridescenza. Ma gli specchi metallici avevano peso eccessivo; di più quando la superficie perdeva lo splendore, l'operazione della pulitura ne alterava la forma geometrica. Il Foucault col sostituire degli specchi di vetro a quelli di metallo tolse cotesti inconvenienti, aumentando anche il potere riflettente: raggiunta infatti la forma voluta della superficie, questa non si altera affatto quando si deve rinnovare — il che si fa mediante soluzione alcoolica di nitrato d'argento ammoniacale — la esilissima pellicola riflettente

Il microscopio — che l'Amici verso il 1820, mediante uno specchio ellittico avente ad uno dei fuochi l'oggetto fortemente illuminato, all'altro l'immagine da osservarsi con opportuno oculare, cercava di rendere *catadiottrico*, ritenendo potesse per siffatta disposizione divenire atto alla osservazione di oggetti opachi senza che questi dovessero essere ridotti in parti troppo esigue; e che mercè il Wheatstone, 1853, diventava buono e pratico nel tipo binoculare — già fino dal 1823 aveva trovato in Carlo e Vincenzo Chevalier coloro che avevano saputo costruire per esso delle lenti perfettamente acromatiche; e d'allora, si può dire, andò continuamente perfezionandosi lungo il volgere del secolo. Tra i nomi più cospicui in quest'opera, con quelli dei Chevalier, e dell'ottico inglese Ross — che, 1837, ideava l'obiettivo *a correzione*, mercè il quale, con uno spostamento della lente vicina all'oggetto, si elimina la mancanza di nitidezza derivante dall'essere l'oggetto stesso scoperto, piuttosto che coperto da vetro, e dall'essere il *copri-oggetto* più o meno spesso — segniamo il nome, già menzionato, dell'Amici. Egli non solo — come il Tulley ed il Goring in Inghilterra — trovava mezzo di costruire, subito dopo i Chevalier, degli obiettivi acromatici con lenti di cui ciascuna era acromatica, ma nel 1855 presentava all'Esposizione di Parigi dei sistemi acromatici completamente nuovi nel concetto — formati con lenti non separatamente acromatiche — e veramente cospicui per nettezza e penetrazione, oltre che per grande apertura angolare: inoltre di lui, se non ebbe fortuna, malgrado il merito indiscutibile, l'invenzione — 1827 — dell'avere ridotto orizzontale il microscopio, rimane invece — preziosissimo — l'obiettivo *ad immersione* — 1855 — così detto perchè deve porsi una goccia di liquido tra la lente e l'oggetto; artificio, cotesto, di cui stupisce la semplicità quando la si paragona all'effetto che se ne consegue ove occorrano immagini di grande purezza e luminosità. Come altri costruttori eminenti, menzioneremo poi l'Hartnack e il Nachet in Francia; Ross figlio, e Powel e Lealand in Inghilterra; Schieck e Pistor, e Zeiss in Germania; Koristka in Italia: ricorderemo pure i nomi — altamente benemeriti della micrografia — dell'Abbe, e del *Glasstechnicum Laboratorium* di Schott e Genossen di Jena, dai quali, per lunghi studi e grande perseveranza, la tecnica fu dotata dei *cristalli apocromatici*, in cui composizione chimica speciale ed uso della fluorina danno il grande pregio della sovrapposizione perfetta di tutti i colori dello spettro.

Un microscopio moderno.
Tipo costr. dal celebre Istituto Ottico Koristka di Milano.

Così — mercè anche un complesso interessantissimo di accessori per la preparazione degli oggetti, per la illuminazione di questi e la regolazione di essa, per le osservazioni a luce polarizzata — le superficie degli oggetti possono — pure serbando nella immagine luminosità e nitidezza meravigliose — apparire ingrandite a milioni di volte; così è concesso scrutare le estreme particolarità di tutto un mondo, che ha sull' altro, ai cui sguardi aveva potuto sottrarsi per tanti secoli, una influenza ed un dominio non sempre benefici, spesso non vincibili.

La luce ossidrica e lampade perfezionate a petrolio dapprima, l'arco voltaico — e in grado minore — il becco Auer e la fiamma dell'acetilene dappoi, col dare potenti focolari luminosi permisero il passaggio dalla vecchia e modesta lanterna magica ai moderni *apparecchi da proiezioni*, ed ai *microscopi fotoelettrici*, coi quali si hanno immagini ancora luminosissime di diecine e ventine di metri quadrati da oggetti, le cui dimensioni sono di pochi centimetri, od anche perfino microscopiche. Con essi — valendosi di diapositive fotografiche e disegni su vetro od altra sostanza diafana — si illustrano in modo geniale lezioni e conferenze; con essi si mostrano ad uditorî anche numerosissimi esperienze di fisica, di chimica, di biologia, che — grazie alla disposizione *a tavolino* ideata dal Porro ed entrata nell'industria col Duboscq possono farsi comodamente perfino su un piano orizzontale, e che richiederebbero, per la visione diretta, apparecchi colossali, spesso praticamente irrealizzabili; con essi in un momento storico memorando — durante l'assedio di Parigi del 1870 — si rendevano facili e rapide la lettura e la trascrizione dei dispacci — che la fotografia, poi, aveva reso impercettibili perchè potessero venire affidati a quel misterioso messaggero che è il colombo viaggiatore —: e di essi si vale la reclame moderna, come se ne vale il teatro per effetti scenici, che da quelli del *fantascopio* e dei *quadri* dissolventi vanno fino ad ottenere, con semplicità insuperabile — mediante il facile moto di piccoli dischi metallici opportunamente perforati ed animati, e con piena verità, e con la grandiosità voluta — la illusione del moto ondoso delle acque inargentate dalla luna, del guizzare del lampo, del cadere della neve e della pioggia.

Ingegnosa, e diffusasi con rapidità straordinaria, la invenzione — degli ultimi anni del secolo — con cui le proiezioni furono destinate alla riproduzione di scene animate; vogliamo alludere al *cinematografo* dei fratelli Lumière, nel quale — appunto per proiezione — si rende ostensibile a tutta una grande massa di pubblico quello che nel *fenakistiscopio* del Plateau — V. p. 109 e 110 — e negli apparecchi derivatine — il *zootropio*, l'*elettrotachiscopio* dell'Anschütz, il *cinetoscopio* dell'Edison, il *mutoscopio*, il *vitascopio* — è riservato alla visione diretta.

Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.
Parti ed accessori di un microscopio moderno.
Da pubbl. dello Stabil. Koristka di Milano.
Legg. espl. — Fig. 1: Obiettivo *apocromatico ad immersione* — Fig. 2: Apparato d'illuminazione *Abbe*. — Fig. 3: Sezione di un sistema di lenti d'apparato Abbe.

Ad importanza quasi pari a quella degli istrumenti di precisione assurse il materiale ottico dei *fari* con le lenti *a scaglioni* — ideate originariamente dal Buffon e considerate dal Condorcet, che aveva proposto di costruirle per pezzi separati — ma di cui si può considerare come vero inventore il Fresnel, essendo creazione di lui i mezzi per costruirle con esattezza ed economia, e di lui l'idea di applicarle ai fari. Grazie ad esse, e grazie alle lampade a lucignoli

multipli — invenzione dell'Arago e del Fresnel, pure oggi, in tanta diffusione della illuminazione elettrica, funzionante in una moltitudine di fari anche di primo ordine — il faro del secolo XIX divenne qualche cosa di veramente perfetto e grandemente utile (1).

E noteremo con i perfezionamenti dei fari quelli portati nei grandi *proiettori* di luce, nei quali specchi squisitamente lavorati e sistemi di lenti cilindriche pianoconvesse permettono di regolare la forma del fascio luminoso — rendendolo cilindrico, così da poterlo concentrare su un punto, o facendolo divergente per modo che sia possibile la esplorazione di una zona più o meno estesa —. Essi rendono servigi segnalati nell'arte militare, e ne rendono di un prezzo incalcolabile alle navi nella esplorazione dell'ambiente che le tenebre della notte sottraggono allo sguardo, o — fissi su torri — guidandole, in rotte pericolose, tra secche e scogli.

Apparato Duboscq per proiezione di oggetti posti in un piano orizzontale.

Da pubbl. della Casa costruttrice.

Legg. espl. — I raggi di una lampada potente — resi paralleli ed orizzontali med. opport. sistema di lenti — sono guidati ad uno specchio piano disp. in modo da rifletterli verticalm. all'insù: sono ricev. da una lente orizz. piano-conv. che li fa convergere su un obiettivo da proiez. All'uscita da questo, med. un prisma a riflessione totale, sono ridotti in direz. tale che l'asse rimane orizzontale. Se un oggetto è posto su una lastra di vetro appoggiata su la lente piano-convessa, si può così ed illuminarlo fortemente dal disotto, ed averne una immagine projettata su uno schermo verticale.

Se ne valgono la telegrafia ottica per corrispondenze anche tra luoghi molto lontani — come dal 1884 fu fatto tra l'Isola della Riunione e l'Isola Maurizio, tra due punti distanti oltre 200 chilometri — e la geodesia in operazioni singolarmente difficili di rilevamento della superficie terrestre — come nei meravigliosi lavori con cui il colonello Perrier arrivava a collegare le coste della Spagna alle frontiere del Marocco, ad una distanza di circa 300 chilometri: risultati cotesti, in cui alla potenza degli apparecchi concorrono — con i perfezionamenti nella lavorazione e con i progressi che hanno consentito siffatta lavorazione per dimensioni, relativamente, imponenti — sia la possibilità di focolari piccoli e di una intensità luminosa enorme quali fornisce la corrente

(1) Si fu nel 1819 che il Fresnel cominciò ad occuparsi dei fari. Il governo francese aveva nominato nel 1811 una *Commission permanente des phares* perchè si occupasse di tutte le questioni che l'esecuzione ed il miglioramento dei fari potevano sollevare. Di essa era parte importante l'Arago. « Mais » — scrive egli nella monografia già cit. a pag. 335 — « des occupations nombreuses, ne me permettant pas de me livrer à ce travail avec toute la suite désiderable, je demandai au commencement de 1819 qu'on voulût bien m'adjoindre un collaborateur. Je dois regarder, comme un des bonheurs de ma vie, d'avoir, dans cette circonstance, soupçonné qu'un ingénieur, alors presque inconnu, serait un des hommes dont les découvertes illustreraient le plus notre patrie; d'avoir obtenu que Fresnel devînt le secrétaire de la commission des phares.

Ce savant célèbre imagina d'abord d'appliquer de grandes lentilles à l'éclairage de nos côtes; de les construire par petits fragments, de se rendre ainsi indépendant des imperfections de l'art du verrier qui ne sait pas encore produire de grandes masses de verre d'une certaine épaisseur, bien diaphanes et sans stries intérieures. Tout cela fut tout aussitôt exécuté que conçu: des expériences nombreuses et délicates amenèrent aussi à la construction d'une lampe à plusieurs mèches concentriques, dont l'éclat égalait plus de vingt fois celui des meilleures lampes ordinaires à double courant d'air. C'est en combinant les lentilles de Fresnel avec la lampe multiple, qu'on a obtenu d'aussi étonnants résultats. Chacun de nos grands phares envoie maintenant sur tous les points de l'horizon une lumière égale à celle qu'on obtiendrait en rassemblant le tiers de la quantité totale des lampes à gas qui tous les soirs éclairent les rues, les théâtres et les magasins de Paris ».

elettrica, siano idee geniali nella disposizione dei focolari stessi. Valgano d'esempio quanto fecero il Mangin — col porre vicino ai carboni incandescenti dell'arco voltiano uno specchietto che rinvia sullo specchio principale tutti i raggi che andrebbero perduti — e lo Schuckert volgendo senz'altro contro i meravigliosi specchi parabolici — costruiti col procedimento, tenuto segreto, del prof. Meyer — il cratere stesso del carbone positivo dell'arco, e rendendo così possibile la costruzione di proiettori, il cui potere illuminante era valutato, in quelli esposti nel 1891 a Francoforte e nel 1894 a Chicago, a 194 *milioni* di candele —.

VI.

La fotografia. Altre applicazioni. La illuminazione.

L'illustre Charles si valeva nei suoi corsi di una carta imbevuta di materia sensibile all'azione della luce per produrre mediante questa, come dice l'Arago (1), delle *silhouettes*. Wegdwood, il celebre fabbricante di porcellane, pubblicava nella puntata del giugno 1802 del giornale della *Royal Institution* della Gran Brettagna una memoria sul modo di copiare le pitture delle vetriate delle chiese e le incisioni mediante pelli e carte imbevute di cloruro o di nitrato d'argento; aveva pensato a fare altrettanto delle immagini date dalla camera oscura, ma le trovava troppo deboli perchè potessero produrre, in un tempo moderato, dell'effetto, sul nitrato d'argento. Humphry Davy arrivava a copiare mediante il microscopio solare delle immagini di piccoli oggetti.

Il *Fantascopio* del Robertson.

Si è dunque a Niepce — un proprietario di terre appassionato per le ricerche scientifiche, e che viveva ritirato nei dintorni di Châlon-sur-Saône — ed a Daguerre — pittore di Parigi — che si deve propriamente, come del resto è noto, la paternità della moderna fotografia (2), la cui prima forma entrata nella pratica ebbe dal pubblico il nome di *daguerrotipia*. La invenzione del fissare l'immagine della camera oscura « de manière qu' un

(1) Arago *Oevres Campl.*, 1858. — T. VII, p. 467.

(2) Le prime ricerche del Niepce rimontano, pare, al 1814; le sue prime relazioni col Daguerre al gennaio 1826, e si stabilirono perchè da un ottico — un po' troppo ciarliero — di Parigi, il Niepce aveva saputo del tentativo che faceva il Daguerre nella medesima via. Essi univano formalmente la loro opera — con un atto regolare per l'esercizio in comune dei metodi fotografici, il 14 dicembre 1829, dopo che il Niepce aveva fatto — 1827 — un viaggio in Inghilterra e presentato — nel dicembre dello stesso anno — alla *R. Soc.* di Londra alcuni prodotti della sua invenzione, da cui risultava che egli aveva saputo risolvere il problema affron-

portrait, un paysage, une vue quelconque projetés sur ce plateau par la chambre noire ordinaire, y laisse une empreinte en clair et en ombre, et présente ainsi le plus parfait de tous les dessins » era annunciata, crediamo, nel 1835 dal *Iournal des Artistes* (1): essa riceveva poi un solenne battesimo nella seduta del 7 gennaio 1839 dell'*Académie des Sciences*, quando Arago ne faceva oggetto di uno dei suoi più splendidi rapporti.

In che consistesse il procedimento chimico della dagherrotipia; come da esso si passasse al collodio ed ai moderni processi extrarapidi; quali vicende abbiano subito le lastre e le carte sensibili, non è compito nostro l'esporre (2) giacchè si tratta di materia attinente strettamente alla chimica. Si dovrà piuttosto rilevare qui, perchè riguarda direttamente la fisica, la evoluzione subita dall'obiettivo e l'immenso perfezionamento portato nella costruzione di esso.

Di fianco a quello *semplice* di forma antica ed andatosi trasformando — un menisco convergente in vetro crown volgente verso la luce la faccia concava, ed unito ad un menisco divergente in flint; oppure col flint biconcavo come in quello dello Chevalier, o piano convesso come nei Busch e nei Goertz; od anche, come nei Voigtländer, con la forma dei vetri di Jena a crown biconvesso e flint biconcavo; od, infine, col tipo di *carattere anormale* degli Schroeder, — il Dallmeyer poneva successivamente il *grandangolare* — 1864 — nel quale il campo di visibilità poteva raggiungere i 92°, e la *distorsione* non era sensibile che verso i bordi, il *semplice rapido* — 1886 — il cui campo non superava i 50°, ma dotato di una chiarezza doppia almeno di quella del precedente, ed il *rettilineare per vedute* — *newrectilinear Landscape lens* — meno rapido del precedente, ma più completamente esente da distorsione.

Mentre compievansi coteste evoluzioni dell'obiettivo semplice, si andavano inventando i *doppi* ed i *tripli*. Tra i primi di tipo *simmetrico* ricordiamo l'*aplanatico* dello Steinheil — 1866 — reso più luminoso mercè i vetri di Jena come fece appunto lo Steinheil — 1886 — che rendeva anche variabile la distanza — *aplanatico universale* — delle due lenti combinate

tato invano dal Wegdwood e dal Davy: il Niepce, infatti, sapeva non solo far corrispondere l'ombra all'ombra, la mezzatinta alla mezzatinta, il chiaro al chiaro, ma anche rendere insensibili all'azione ulteriore della luce le immagini prodotte. In seguito però il Daguerre; non solo apportava perfezionamenti notevoli nei metodi del Niepce, ma scopriva procedimenti completamente nuovi, « *doués de l'avantage de reproduire les images avec soixante ou quatre-vingts fois plus de promptitude* que les procédés anciens » come dice l'Arago citando testualmente una delle convenzioni tra il Daguerre e Isidoro Niepce, figlio del fisico di Châlons-sur-Saône.

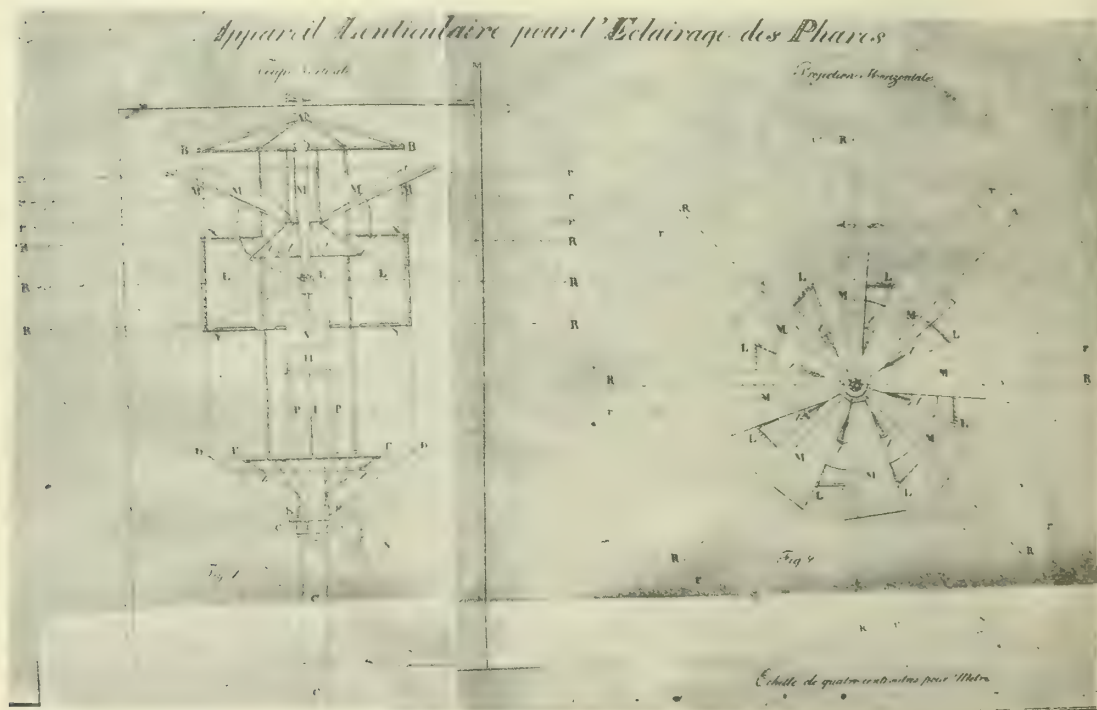
(1) T. II, p. 203. Cfr. Arago *l. c.* p. 485.

(2) Sarà trattato l'argomento nella monografia riguardante la Chimica.

(*) Cotesti *films* hanno raggiunto lunghezze che arrivano anche ai cinquecento metri: calcolando che ciascuna fotografia abbia due centim. di altezza — alcune sono anche più piccole — si hanno in quelle pellicole 25.000 vedute.

Parte di *film* da cinematografo (*).

— che si avvicinano per le riproduzioni, si allontanano per i gruppi —. Ricordiamo pure il *rettilineare rapido* del Dallmeyer — leggermente posteriore al primo. — Da cotesti tipi venne tutta una numerosa famiglia di obiettivi noti e diffusi; gli aplanatici rapidi ed extrarapidi del Berthiot, i rettilineari rapidi del Français, gli aplanatici rapidi e gli aplanatici rapidi semigrandangolari dell'Hermagis, i rettilineari extrarapidi del Prazmowski, gli emisferici del Darlot, i linkeioscopici e paraplanatici del Goertz, i simmetrici, simmetrici rapidi, universali, del Ross di Londra, gli euriscopici del Voigtländer, gli aplanatici del Suter.

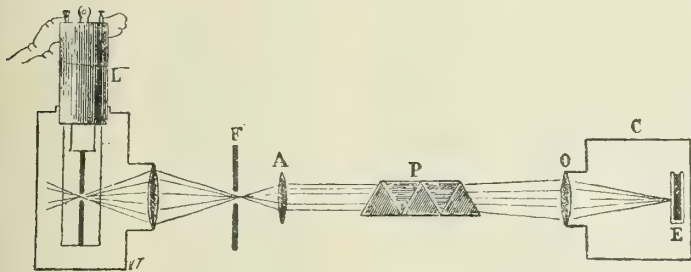
Ricordiamo ancora gli *obiettivi simmetrici grandangolari*, come l'aplanatico

Le *lenti a gradinate* del Fresnel.
Riprod. dalla Tav. I della monog. orig. del Fresnel « *Mém. sur un nouveau système d'Éclairage des Phares* » l. all'*Ac. d. Sc.* il 29 luglio 1822.

per paesaggi, dello Steinheil, e gli altri per vedute e per riproduzioni, del medesimo; e gli affini — il pantascopico del Bush, i panoramici dell'Hermagis e del Prazmowski, gli emiscopici del Voigtländer, i perigrafici, tra cui notevole l'extrarapido, del Berthiot. Cotesti esempi basteranno, crediamo, a dare un' idea della moltitudine di tipi creati, ciascuno dei quali costituisce una prova dello studio di cui ha formato oggetto l'obiettivo fotografico. Però — anche senza proseguire oltre in una enumerazione che ci porterebbe troppo lontano — sarà da segnalare anzitutto la serie squisita degli *anastigmatici* che la Casa Zeiss inventava nel 1891 e continuamente perfezionava dippoi, e che, grazie alla grande abilità del Koristka, si riproduceva tosto — con obiettivi di merito assolutamente non inferiore agli Zeiss — anche in Italia; e sarà pure da notare il fatto che per soddisfare alle esigenze della fotografia perfetta — la quale richiede nell'obiettivo attitudini diverse secondo il diverso genere di lavoro

al quale si volge — i costruttori hanno trovato il modo di fornire sistemi componibili di lenti, insegnando ad accoppiarle in modo che se ne formino sistemi i quali offrano di preferenza l'uno piuttosto che l'altro dei requisiti indispensabili alla perfetta riuscita dei singoli lavori. Con coteste *trousses* vengono quindi conseguite comodità e vera economia, insieme al soddisfacimento delle esigenze tecniche.

Sarà pure da accennare al *teleobiettivo*, inventato contemporaneamente dal dott. Miethe di Potsdam e dal Dallmeyer, e di cui si fecero tosto, altri tipi svariati —: mercé esso, un oggetto lontano anche 20 o 30 chilometri può essere fotografato nella medesima dimensione e con i medesimi parti-

Fig. 1.

Fig. 2.

Disposizione del Lippmann per la riproduzione fotografica dei colori.

Legg. espl. — Fig. 1: Disposiz. gen. per fotograf. lo spettro della luce ad arco: *L* lamp. ad arco; med. una lente condensatrice, il diaframma *F* con fessura sottilissima orizzontale, e la lente *A*, si invia sul prisma *P* — *a visione diretta* — un pennello lineare di raggi. Questo esce scomposto, e l'obiettivo *O* dà dello spettro una immag. su la pellicola fotografica, che è posta nella camera *C*. La pellic. stessa è colloc. al modo indicato a pag. 391, in nota.

Fig. 2. — Vaschetta.

Fig. 3. — Sezione ideale fatta alla pellicola, dopo sviluppo e fissaggio, con una incisione nella pellicola stessa: le striscie nere rappres. gli straterelli di argento ridotto, che limitano i veli esilissimi in cui la pellicola ne è sfaldata.

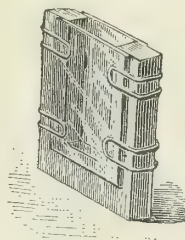
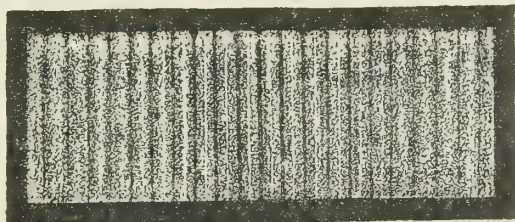



Fig. 3.

colari che si otterrebbero ove l'oggetto stesso fosse posto a distanza normale per un obiettivo ordinario.

Con uno studio approfondito dell'obiettivo — nel quale scienza e tecnica si sono data la mano —; con quello dei *diaframmi*, degli *otturatori*, degli *schermi colorati*, delle materie sensibili, dei metodi di sviluppo, della durata di posa in relazione alle condizioni di luce ed ai colori degli oggetti; con i mezzi per rendere ortocromatiche le lastre — cosicchè i colori più attivi non diano sulla negativa una tinta eccezionalmente carica rispetto a quelle date dai colori più lenti —; con tutto cotesto complesso, si può dire che la fotografia è diventata un vero ramo di scienza, oltre che un'arte vera. Non esiste scienza d'osservazione che non se ne valga, e non possa — grazie ad essa — riprodurre con tutta la perfezione — fissandolo anche, per di più, indelebilmente — quanto può interessarla: la biologia, come l'astronomia; la meccanica, come la bacteriologia; le infinite branche della storia naturale, come l'arte militare e quella del rilevamento topografico, hanno trovato nella fotografia un aiuto che ne ha accelerato meravigliosamente il progresso. Diremo di più: la fotografia può far vedere quanto all'occhio sarebbe vietato da insufficienza della luce: così avviene delle nebulose del cielo che non arrivano ad impressionare

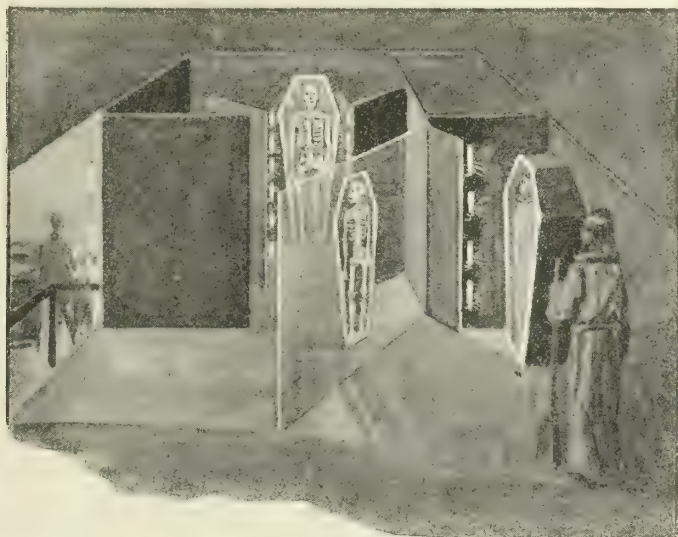
la retina, ma agiscono sulla lastra fotografica ove questa rimanga esposta per un tempo bastantemente lungo. Essa, che soddisfa ad un bisogno del cuore col darci la immagine fedele delle persone più care, ci è fonte di diletto intellettuale e di coltura quando si volge alle opere dello scalpello e del pennello, ai monumenti dell'architettura, alle traccie della vita delle generazioni scomparse: ed ha raggiunto un tale grado di comodità e semplicità — colle pellicole ed i mezzi di sviluppo e fissaggio — da ridurre a qualche ettogrammo ed a pochi centimetri cubi il materiale occorrente a centinaia di negative, e da mettere alla portata perfino del fanciullo tutte le operazioni che richiede. Quando l'Arago analizzava il problema che il Daguerre aveva affrontato e risolto, diceva: « aux yeux de tous, il faut le dire, c'était là un rêve destiné à prendre place parmi les conceptions extravagantes d'un Wilkins ou d'un Cyrano de Bergerac; » ed allora — è bene il notarlo — il prendere una veduta richiedeva tale tempo che il grande fisico non risparmiava un po' d'ironia per coloro che « au moment d'entreprendre un voyage, déclaraient vouloir profiter de tous les moments où la diligence gravirait lentement des montées, pour prendre des vues du pays ». Che era ciò al confronto di quanto consentono le nostre macchine da istantanea, per le quali può apparire immobile la ruota della locomotiva del treno più rapido? Avrebbe mai l'Arago immaginato che si sarebbe arrivati a ridurre — come fece lord Rayleigh — il tempo di posa ad *un venticinquemilionesimo* di minuto secondo?

Diciamo pure che l'Arago ancora nel 1839 trattava da sognatori coloro che ritenevano possibile « la réproduction, la multiplication des dessins photographiques par des reports lithographiques », e aggiungeva: « En frottant, en tamponnant de pareils dessins » — parla delle daguerrotipie « en les soumettant à l'action de la presse ou du rouleau, on les détruirait sans retour. Mais aussi, personne imagina-t-il jamais de tirailler fortement un ruban de dentelles, ou de brosser les ailes d'un papillon? » Così si presentavano le cose a quello spirito che fu pure tra i più illuminati che abbia mai contato l'umanità. Eppure il sogno è diventato una realtà con la zincotipia, con l'eliotipia, con i procedimenti al carbone, e tanti altri metodi fotomeccanici.

Però un ramo della fotografia era rimasto sterile fino quasi alla fine del secolo: la fotografia dei colori. Il Ritter fino dal principio del secolo aveva fatto i primi tentativi per fissare lo spettro solare, e dopo di lui il Wollaston, il Davy, il Seebeck, l'Hundt, G. Herschell, Edmondo Becquerel, Niepce, e, venendo fino a noi, il Poitevin, il Ducos de Hauron, il Cros, l'Abney, il Winstanley avevano lavorato alla risoluzione del problema. Tutti però avevano battuto la via delle azioni chimiche, e coloro stessi che pure — con cotesti metodi nella cui esposizione non entriamo perchè non sono del campo della fisica — erano riusciti — come era riuscito perfettamente il Becquerel per lo spettro solare — ad ottenere la riproduzione del colore, non avevano potuto poi renderla permanente: il colore non si conservava che a condizione di tenere la prova nella oscurità.

Si fu nel 1891 che Gabriele Lippmann, professore alla Sorbona, ideava il *metodo interferenziale,* e riusciva alla riproduzione fedele ed inalterabile della tavolozza della natura con un artificio di cui non si saprebbe immaginare

nulla di più semplice; col porre, cioè, la pellicola — preparata in modo che la materia sensibile, cloruro o bromuro d' argento , ad esempio, sia diffusa molto minutamente nel sopporto gelatinoso — a contatto d'uno specchio di mercurio ben terso, durante la esposizione alla luce (1).

Quanto ai processi di *tricromia* ed analoghi, coi quali si ottiene una ripro-

Illusioni ottiche: « Conversione di un uomo in uno scheletro ».

Legg. espl. — L'illus. è otten. med. una grande lastra di vetro che fa da specchio senza amalgama, e che è tanto tersa da non riuscire visibile sullo sfondo nero della scena, e regolando e variando opport. la illuminaz. sia della pers. viv., che — se illum. — si vede attraverso al vetro sia dello scheletro, di cui riesce solo visib. la immag. riflessa dallo specchio, quando s'intende, lo schel. stesso sia illuminato. Lo spettac. com. con l'illum. fortem. la persona viv., tenendo lo scheletro nell'osc. perfetta; prosegue moderando successiv. — fino ad estinzione — la illum. della prima ed illuminando inv. sempre più vivam. il sec.

duzione fotografica dei colori, ed in cui meriterebbero menzione i lavori del Cros, del Ducos de Hauron, dell'Husnik, dell'Albert, del Jolly, del Vidal, dell'Ives, noteremo che si tratta di procedimenti basati completamente su fatti in cui l'elemento preponderante è il fenomeno chimico, e che la riproduzione

(1) Il Lippmann fa una vaschetta che riempie di mercurio, e di cui una parete è formata dalla lastra sensibile, disposta con la gelatina verso l'interno. La vaschetta viene collocata al luogo dello *châssis* ordinario, in modo che la pellicola si trovi al posto normale. I raggi partiti dall'oggetto, che supponiamo — per semplificare il ragionamento — essere quelli rossi dello spettro solare, attraversata la pellicola, incontrano la superficie del mercurio che li riflette nella medesima direzione del fascio incidente. Si formano così — V. pag. 47 e seg. — delle *onde stazionarie*. Come risulta da quanto fu detto a proposito di queste, la pellicola sarà divisa in tanti straterelli, paralleli alla superficie del vetro, determinati dai piani in cui l'azione della luce è massima — nei quali quindi la materia sensibile sarà alterata —: tra un piano e l'altro vi sarà a metà, il piano in cui l'onda riflessa avrà annullato l'onda incidente, ed in cui quindi la materia sensibile non avrà subito alterazione di sorta, precisamente come se non fosse stata esposta alla luce. Sviluppando la lastra al modo ordinario, e fissandola, la pellicola rimarrà formata da tante lamine sottili, ciascuna delle quali avrà precisamente lo spessore che — come in certe parti di una bolla di acqua saponata — vale a fare apparire rossa la lastra. Quando si tratti di un oggetto a molti colori, ciascuno di questi apparirà nel punto corrispondente dell'immagine, ove questa si guardi *per riflessione*, giacchè ciascun colore determina lo spessore delle laminette sottili, in cui riesce sfaldata la gelatina, secondo la lunghezza dell'onda che lo caratterizza. Il metodo richiede avvertenze speciali, la cui necessità deriva dalla diversa rapidità caratteristica dei diversi colori. Esso, prima ancora che fosse perfezionato, nei particolari tecnici, dai fratelli Lumière, era già così sicuro che il Lippmann aveva potuto accompagnare la comunicazione di esso all'*Académie des Sciences* con la fotografia perfetta dello spettro solare — in cui, è noto, sono tutte le gradazioni dei colori — e con quelle di un gruppo di bandiere, di una vetriata a colori, di un piatto di arancie e di fiori di papavero, e di un pappagallo; il che è quanto dire di oggetti, in alcuni dei quali sono misti colori i più disparati per rapidità di azione, mentre altri offrono colori i meno attivi chimicamente. Noteremo da ultimo che coteste fotografie colorate sono inalterabili, perchè la loro colorazione dipende, non già da sostanze chimiche le quali possono venire modificate dalla luce, ma dalla proprietà delle lamine sottili, la quale permane immutabile, purché permanga lo spessore: e questo, evidentemente, nella fotografia Lippmann non può cambiare.

— indiretta — per quanto possa anche apparire meravigliosa, non raggiunge affatto la verità che si trova in quelle dei paesaggi e nelle altre fotografie ottenute col metodo interferenziale.

Prima di chiudere queste note su l'ottica, accenneremo ancora ad istrumenti molto semplici, alle disposizioni di cui si valgono gli illusionisti, al rinnovamento *ab imis* dei sistemi di illuminazione.

Mettiamo tra i primi il *caleidoscopio*, invezione del Brewster, e da lui fatto conoscere con un articolo — *Bibl. Univ.* a. 1818, T. VIII, p. 155 a 160 — comunicato ad un redattore della celebre rivista di Ginevra, il quale aveva avuto l'opportunità di conoscere il Brewster a Londra, dove il caleidoscopio doveva essere in gran voga poichè — si nota nell' articolo — esso occupava e divertiva allora « toutes les classes de la Societé ». È il principio del caleidoscopio quello che si vide applicato negli ultimi anni del secolo nel *labirinto* e nella *camera magica*, nei quali degli specchi piani e perfetti — formanti tra loro angoli di 60° — creano la illusione di vie che non esistono, e quella di vere moltitudini, quando una sola persona o ben poche si trovano nella camera.

Il Wollaston inventava la *camera chiara*, o *lucida*, e l'Amici — 1823, *Ann. de Ch. et de Phys.*, T. XXII, p. 137 a 155 — la perfezionava, togliendole qualche difetto, e rendendola notevolmente più pratica. Al Wheatstone, che già nel 1830 aveva pubblicato nelle *Philosophical Transactions* — pag. 371 a 394 — importanti osservazioni su la visione binoculare, si deve lo *stereoscopio*, dal quale abbiamo il rilievo nelle vedute degli oggetti col presentare a ciascun occhio il disegno della prospettiva che l'oggetto stesso gli offre quando esso lo guarda senza il concorso dell'altro: dell'ingegnosissimo apparecchio il Wheatstone dava notizia alla *British Association for the Advancement of Science* nell'ottava riunione, tenuta a Newcastle nell'agosto del 1838; e, come si rileva — pag. 16 e 17 — dalle *Notices* che accompagnano il relativo *Report*, pubblicato nel 1839, esso constava di due specchi ad angolo retto sporgenti, lateralmente ai quali erano disposti i due disegni di uno stesso oggetto, rappresentanti le due prospettive offerte da esso separatamente e rispettivamente al corrispondente occhio.

Come applicazioni, ricorderemo ancora gli ingegnosi *anaglyphes* del Ducos de Hauron — 1894 —, vedute stereoscopiche sovrapposte, l'una stampata in rosso, l'altra in azzurro: guardate attraverso a vetro rosso posto davanti all'occhio a cui corrisponde la prospettiva stampata in rosso, ed a vetro azzurro collocato davanti all'altro, essi danno una sola immagine col rilievo, come con lo stereoscopio; noteremo l' applicazione del prisma a sorvegliare nelle acciaierie a convertitori Bessemer la decarburazione per la quale la ghisa si trasforma in acciaio; noteremo l'applicazione della fotografia agli istrumenti a registrazione continua.

Tra le illusioni ottiche le quali ebbero ed hanno successo, ed ottenute semplicemente mediante giuoco di specchi — con amalgama o senza —, notiamo quella data dal *cannocchiale magico* — con la disposizione *fin de siècle* del « I raggi X senza i raggi X — il *decapitato parlante* — con varianti, come il *busto di Socrate*, il *salvadanaio magico*, la *cremazione — di persona vivente — sul palco-*

scenico — gli *spettri*, danzanti nell'aria, la trasformazione di persona vivente in .... uno scheletro col susseguente rimutarsi di questo nella prima (1).

Codeste illusioni possono riuscire perfette, grazie alla grande purezza ed omogeneità che l'industria del vetro ha saputo raggiungere, ed alla perfezione conseguita anche industrialmente nello spianare le faccie; su la quale operazione è però a notarsi che quando la superficie piana deve essere prodotta su una faccia di *prisma a riflessione totale*, o su uno specchio da *eliostata* o da *siderostata*, istrumenti che pure ebbero nel secolo XIX cospicui miglioramenti — segnatamente per opera del Foucault — la lavorazione ed il ritocco riescono ancora lunghi, penosi e costosissimi (2).

Non meno splendide di quelle sopra ricordate sono le illusioni di effetti di luce che l'arte scenica sa ottenere mediante lampade elettriche con vetri a diversi colori, opportunamente commiste e regolate, o con le potenti lampade ad arco, la cui luce viene perciò filtrata attraverso a pellicole e lastre diafane pure a diversi colori: certi effetti di incendio, o di arcobaleno; di alba, o di tramonto; di chiarore di luna, o di sole abbacinante, diventati un complemento necessario della *mise en scène*, sono ottenuti in modo che si può dire perfetto. Essi rappresentano il punto culminante al quale nel secolo XIX è arrivata l'arte della illuminazione, dopo essere passata attraverso a molte vicende per la materia prima, per i metodi, per gli apparecchi.

E' bensì vero infatti che la lampada Carcel — a rotismo di orologeria, e di cui la prima, la *lycnomena* di Carcel e Carreau, era stata brevettata proprio allo spirare del secolo XVIII, nell'ottobre del 1800 — come quella analoga, meno perfetta ma più economica, del Joly — 1801 — come un'altra dell'Argand — fratello dell'Ami, di cui si parlò a pag. 339 — come parecchie altre, tra cui quella *à modérateur* — inventata dal Franchot nel 1837, e subito dopo perfezionata da Hadrot e Neubeurger — avevano rappresentato per un lungo periodo del secolo, insieme alla candela stearica, i mezzi più comuni d'illuminazione. Ma già sin dal principio un grande rivale era andato facendosi strada, il gas illuminante, del quale avevano cominciato ad occuparsi fino dal 1791 il Lebon in Francia e dal 1792 il Murdoch in Inghilterra: esso però, se entrava nell'applicazione solo molto più tardi (3), nell'ultimo

(1) Quattro specchi piani con amalgama nascosti nel tubo del cannocchiale, nelle colonne di sostegno, ed in un tubo di collegamento di queste collocato nell'interno del tavolo su cui poggia l'istrumento, permettono nel *canocchiale magico* la illusione di credere che si vedano gli oggetti attraverso un blocco di pietra od altro corpo opaco, situato tra le due parti in cui è divisa la canna del cannocchiale.

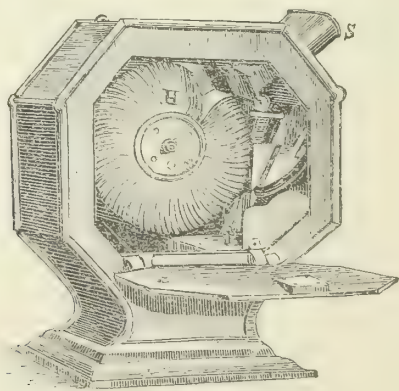
Due specchi pure piani, verticali e con amalgama, formanti un angolo retto sporgente, ed opportunamente collocati, nascondono persone e cose che si trovino o scendano dietro ad essi, mèntre col riflettere l'immagine delle pareti laterali coperte con stoffa di tinta uniforme, lasciano la illusione che sia vuoto lo spazio ove invece appunto stanno o passano uomini e cose; per tal modo si nasconde il corpo del *decapitato parlante* la cui testa si trova — in un bacino, forato nel mezzo, che ne circonda il collo — sopra la tavola, le monete che scendono nel *salvadanaio magico*, la discesa sotto il palcoscenico della persona — che si sottrae dalla scena, mentre si sostituiscono al suo posto delle ossa incenerite — nella *cremazione di persona vivente*, eec. Quanto agli ultimi due esperimenti fantastici e macabri sopraricordati essi vengono effettuati con grandi lastre di cristallo con amalgama, e con illuminazione intensa di persone e scheletri invisibili allo spettatore, collocati — davanti a fondo di velluto o panno perfettamente nero — in modo che la loro immagine riflessa dalla lastra di cristallo riesca visibile allo spettatore.

(2) Un buon prisma rettangolo a cateti uguali di cristallo, destinato a riflessioni totali e che abbia altezza e cateti di dieci centimetri può costare poco meno che un migliaio di lire.

(3) Tra i primissimi esempi di applicazione del gas ricorderemo quelli recati dall'*Almanach sous verre*, T. II, col. 269 — V. D'Allemagne, *op. cit* , pag. 576 —: nel 1812 esso informava che era stata fatta — con buon esito — la prova del nuovo sistema d'illuminazione a Francoforte, e che erano illuminate a gas le vie principali di Londra, nonchè quelle di Preston nel Lancashire.

periodo del secolo, grazie alle lampade Siemens, Wenham, Auer, doveva esercitare una concorrenza formidabile alla stessa lampada elettrica. Tra i fatti più notevoli in cotesto campo sono poi da annoverarsi ancora la introduzione e generalizzazione dei sistemi a petrolio ed affini, e dell'acetilene; sopra tutto quello dell'illuminazione elettrica, come si vedrà tra breve.

Tuttavia avanti di passare a dire dell'elettricità, dobbiamo invitare il lettore a considerare quanta, anche nel campo dell'ottica, sia la differenza nello stato della teoria e della tecnica al principio ed alla fine del secolo XIX.

Sbandita la teoria della emissione, stabilita e sviluppata quella delle ondulazioni; scoperta e studiata la esistenza e la natura dello spettro calorifico e di quello chimico, e della loro natura assodate, sia la identità rispetto al luminoso, sia la reciproca trasformabilità; stabilita una scienza nuova su le poche osservazioni tramandate dal periodo antecedente su la doppia rifrazione e su la polarizzazione; create scienze nuove nella spettroscopia e nella fotografia; e tutto cotesto con i progressi nella costruzione degli istrumenti, nella illuminazione, negli studi sui colori e su la visione. Ecco l'opera immensa del secolo XIX nel campo dell'ottica; opera dalla quale doveva, per di più, scaturire una delle parti più meravigliose della elettrologia e della elettrotecnica con le teorie del Maxwell, le scoperte dell'Hertz e del Röntgen, le invenzioni del Ferraris e del Marconi; opera singolarmente favorita dalla concomitanza provvidenziale — frutto non del caso, ma dell'indirizzo del pensiero — per la quale la teoria delle ondulazioni si andava stabilendo precisamente nello stesso periodo in cui la termodinamica sbarazzava il campo della scienza dalla idea della materialità del calore.

Il *Mutoscopio*.

Cimeli del Volta, presentati dal Museo Civico di Como alla Esposizione Voltiana del 1899.

Da fotogr. eseg. e cortes. fav. dal ch. sig. ing. arch. Federico Frigerio.

Legg. esplic. — Nel mezzo: pila a colonna, forse la prima: fu salvata tra le fiamme dell'incendio dell'Espos., con perd. di alc. dischi. A sinistra; elettroscopio a pagliuzze; compl. distrutto. A destra: pila a corona di tazze, salvata. Il pomo metall. dell'elettroscopio era fatto con un frammento di compasso.

L'ELETTROLOGIA E L'ELETTROTECNICA.

I.

Fino all'invenzione della pila.

Si dice (1) che torrenti di luce si sprigionassero dai capelli di Servio Tullio fanciullo quando dormiva; e che Teodemiro, padre del grande Teoderico, avesse l'abitudine di trarre scintille dal suo corpo. È la favola che avvolse per lunga serie di secoli i fatti dell'elettricità; la favola, nei cui regni noi stessi saremmo poi tentati di confinare le meraviglie a cui essa è giunta durante il secolo XIX, se non ne fossimo testimoni e se di esse non godessimo in tanta parte della vita sociale e privata gl'inestimabili benefici.

Le nozioni positive più antiche sui fatti fondamentali dell'elettricità si riducono — è notorio — alla osservazione — rimontante ormai a più che venti secoli — di Talete — il filosofo di Mileto — su l'ambra — *electron* — (2).

(1) *Lumière Électrique*, a .1891, T. XL, pag. 61. Per quanto riguarda Servio Tullio, veggansi Tito Livio — *Hist.* lib. I, c. XXXIX — Valerio Massimo — *Exempl. Memorab.,* lib. I, c. VI — Plinio — *Hist. Nat*, lib. II c. CXI — Floro, Dionigi d'Alicarnasso, Apulejo, ecc.

(2) Su cotesta osservazione di Talete si attribuisce comunemente al filosofo greco quanto invece scrisse — assai più tardi, non occorerrebbe notarlo — Plinio al Lib. XXXVII, c. 12, della *Hist. Nat.* Quanto si sa della osservazione di Talete su l'ambra pare si riduca al brano seguente di Diogene Laerzio — *Vita di Talete* — che riportiamo tradotto: *Aristotele ed Ippia dicono che egli (Talete) desse un'anima anche alle cose inanimate argomentandolo dalla pietra del magnete e dall'ambra.* L'a. deve questa notizia al prof. G. Zuccante — l'illustre insegnante di storia della filosofia nella R. Accademia Scientifica Letteraria di Milano — al quale esprime qui un ringraziamento sincero, anche per la bontà avuta di riguardare di proposito lo Zeller, il Gomperz, il Tannery, ed il *Fragmenta philosophorum graecorum* del Mullack. Aggiungeremo che in quanto ci rimane di Aristotele, a proposito di Talete, non si parla nemmeno dell'ambra, e solo — *De anima*, libro I, c. I — si dice: « pare che Talete, da ciò che ne ricordiamo, pensasse essere l'anima alcunchè di movente, se realmente disse che la pietra ha anima poichè muove il ferro ». Quanto a Ippia, il Möhlh — *Rhein. Mus.*, a 1861, p. 49 — nello studio sul sofista greco si limita a riprodurre il brano del Laerzio, e non dà alcunchè di più.

E cotesta nozione si andò conservando e diffondendo; onde, ad esempio, come sappiamo da Plinio, — che dell'ambra parla a lungo ed in più di un luogo — in Siria — *Hist. Nat.*, lib. XXXVII, c. 11 — le donne la chiamavano *harpaga* perchè « tira a sè le foglie, le paglie e gli orli delle vesti ».

Un'altra nozione positiva, che rimonta ad antichità meno remota, è quella che dà Teofrasto — 321 a. C. — su la proprietà attrattiva della tormalina nel Trattato Περί λίθων — *Delle pietre.* —

Copiose invece le osservazioni sui fulmini, dei quali, per altro — sarebbe superfluo il notarlo — era ignorata la natura elettrica: Plinio, particolarmente, ne ragiona ampiamente ed in più di un luogo, segnatamente nel libro II — dal capo 51 al 56 — dove dice in quali terre non cadano e perchè, delle loro varie specie, e di fatti prodigiosi operati da essi, riportando poi copiose osservazioni fatte sui fulmini dai Romani e — coteste molto interessanti — dagli Etruschi, ed indicando anche... quali cose non siano tocche dalle saette.

Interessanti pure — ci riferiamo sempre alla antichità — le notizie sui pesci elettrici, al cui proposito ci piace ricordare ancora Plinio, il quale — c. 67 del libro IX — nota che « la torpedine conosce la sua forza... e tuffandosi nella mota si nasconde e così s'impadronisce dei pesci, che, nuotando sicuri sopra di essa, vi rimangono intorpiditi od addormentati »; ed al c. 25 del medesimo libro riferisce come « il siluro, quando comincia la Canicola, rimane rattrappito, ed è sempre assopito dal fulmine ».

Fig. 1. Fig. 2.

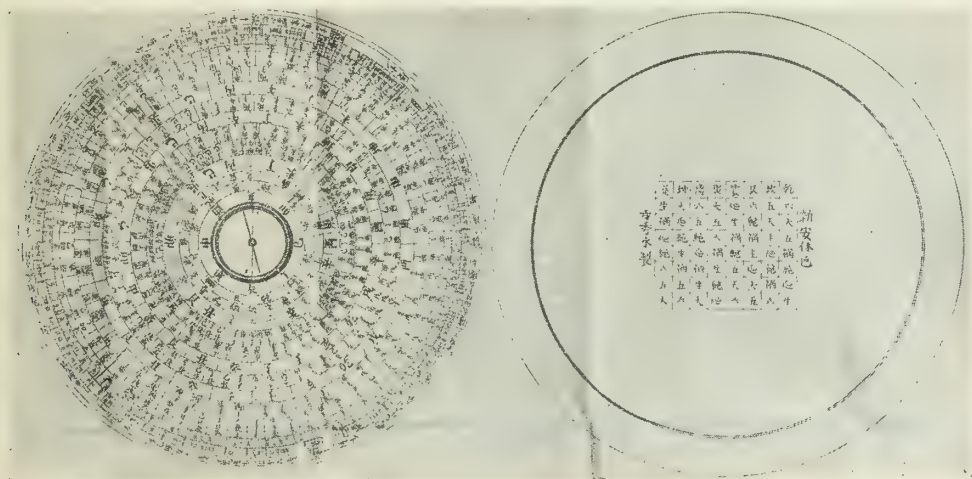
Tchi nan Kiu, o *carri che indicano il Sud.*

Riprod. dalla Tav. II dello scritto del Klaproth cit. a pag. 397, nota (1).
Legg. esplic. — Fig. 1. Carro magnetico, il cui disegno è tolto dal Lib. V, *fol.* 10, *verso*, della Enciclopedia chinese *San thsaï thou hoei*, di Wang khi, pubbl. verso il 1609. — Fig. 2. Statua di carro magnetico: dal Vol. XXXIII della grande Enciclopedia giapponese.

Nessuna meraviglia poi che, insieme a nozioni ed osservazioni conformi al vero, gli scrittori antichi mescolino cose le più strane, così che, ad esempio, quel medesimo Plinio — lib. XXXV, c. 50 — ci dica che « i fulmini hanno odore di solfo e la stessa loro luce è come quella del solfo » in un brano il quale lascia quasi credere il fulmine una fiamma sulfurea, e scriva altrove — lib. XXVIII, c. 11 — con tutto candore: « vuolsi che sia rimedio efficace, contro il mal di denti, lo spiccare col morso un po' di legno che sia stato colpito dal fulmine, tenendo però le mani dietro la schiena e toccando poi con quel pezzo il dente che duole ».

Per la scienza moderna i fenomeni del magnetismo rientrano in quelli dell'elettricità: non così fu per gli antichi. Però una analogia tra le proprietà attrattive dell'ambra e quelle della calamita è notata da tutti gli scrittori antichi che parlano della prima: il modo di comportarsi del ferro ri-

spetto alla calamita è costantemente il termine di paragone di cui si valgono ad indicare i fenomeni dell'*electron*, quando « stropicciato con le dita in modo che riceva la forza del caldo, attira a sè la paglia e le foglie disseccate che sono leggiere ».

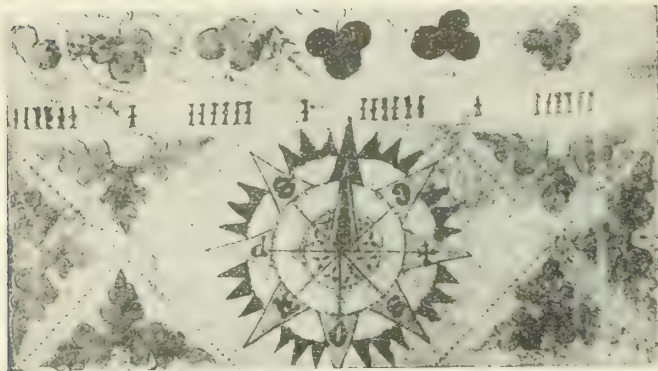
Naturale che alla calamita si attribuissero virtù misteriose, e che su la potenza attrattiva di essa si intrecciassero delle leggende. Così era reputata atta a guarire male d'occhi e ad arrestare la lacrimazione: così per attrazione

Bussola astrologica chinese.
Ripr. della Tav. III dello scritto del Klaproth indicato a piede di pag., nota (1).

di magneti rimaneva sospesa, nell'aria, la statua — dai capelli di ferro — di Arsinoe nel tempio costrutto da Dinocrate Alessandrino per ordine di Tolomeo II, e stavano sospese statue nel tempio di Diana in Efeso ed in quello di Serapide in Alessandria.

Dell'applicazione della calamita all'arte dell'orientamento, fu scritto molto; poco, tuttavia, di attendibile. Se — come pare — è a credersi a quell'insigne orientalista che fu il Klaproth (1), realmente i Chinesi avrebbero fatto cotesta applicazione forse 2600 anni prima di Cristo certamente 1100 anni prima dell'era volgare, con quei carri sui quali era una statua indicante sempre il sud, e di cui si valevano le truppe nelle marcie. I Chinesi inoltre avrebbero avuto aghi magnetici almeno dal secolo II dell' era cristiana. « Nel dizionario *Choue wen* di Hiu tchin che lo terminò nel 121 a. C. » scrive il Klaproth — pag. 66 — « si legge, sotto l'articolo magnete: nome di una pietra con la quale si può dare la direzione all'ago ».

Su l'uso della bussola nell'occidente pare da escludersi lo conoscessero i Normanni che andarono a scoprire l'Islanda e le coste orientali dell'America del Nord: il brano del prete e storico islandese Are Thorgilsson Frode in cui si accennerebbe a quell'uso, secondo il Mottelay (2), non si riscontra in tutti i manoscritti, onde è a dubitarsi che si tratti d'interpolazione postuma.

(1) *Lettre à M. le baron A. De-Humboldt sur l'invention de la boussole*, Parigi, Dondey-Dupré, 1834.
(2) *Lumière Électrique*, a 1891, T. XL, p. 61.

A Guyot de Provins, menestrello del secolo XII, si fa rimontare il primo accenno autentico all'uso della bussola nella navigazione (1), per il che pare a ritenersi che la invenzione del pilota Flavio Gioia d' Amalfi, o di altro amalfitano — principio del secolo XIV — abbia consistito nell'introdurre l'uso della rosa dei venti mobile insieme con l'ago magnetico. Certo è che la bussola ed il suo uso, sia geodetico che nella navigazione, sono anteriori al pilota amalfitano.

Disegno di una bussola su un Portolano.
Ripr. dal Portolano *F.* 260 *inf.* n.° 2 della *Biblioteca Ambrosiana.*
È tra i portolani più preziosi, in pergamena, della seconda metà del sec. XV.

« Di una bussola fornita di alidada ad uso di grafometro » scrive l'autorevolissimo p. Bertelli (2) « abbiamo la descrizione nella *Epistola de magnete* di Pietro Peregrino di Maricourt (1269) ». Il Klaproth poi dimostra e come l'ago magnetico fosse noto in Europa verso la fine della prima metà del XII secolo, e come indubbiamente verso la fine della prima metà del XIII nel Mediterraneo fosse usato nella navigazione (3).

Su la *declinazione* magnetica — la deviazione dell'ago dalla direzione nord-

(1) In un poema intitolato *la Bible*, che si trova alla *Bibliothèque Nationale* di Parigi. Vi si legge che i marinai usavano strofinare degli aghi su una pietra bruna chiamata *marinière*, alla quale il ferro aderisce, e che, quando si fa galleggiare cotesto ago su l'acqua mediante una foglia, esso si volge verso il nord . . .
Il brano comincia così:

« Par la vertu de la marinière,
Une pierre laide et brumière
Ou li fers volontiers se joint . . . ».

Aggiungeremo che il Mottelay — da cui prendiamo questa citazione — ricorda pure sotto la data 1204-1215 il passo seguente di Giacomo de Vitry, cardinale vescovo di Tolemaide: « dopo che l'ago ha toccato la pietra di calamita si volge sempre verso la stella polare . . . : così la bussola può indicare ai naviganti la rotta »; cotesto altro — 1207 — di Alessandro Neckham nel *De Naturis Rerum*: « quando i marinai in mare, a motivo delle nubi che nascondono il sole, o per la oscurità della notte, hanno perduto la conoscenza della parte del mondo verso cui si dirigono, toccano un ago con un magnete: cotesto ago si mette a girare, e quando il moto cessa si dirige verso il nord: e finalmente i versi

Tous autresi (ainsi) comme l'aimant déçoit (détourne)
L'aiguillette par force de vertu
A' ma dame tot le mont (monde) retennue, ecc.

di un poema del menestrello Gauthier d'Espinois.

(2) Nota a pag. 6 della monografia *Appunti intorno ad una memoria sulla scoperta della declinazione magnetica fatta da Cristoforo Colombo*, in *Rivista Marittima* del luglio 1893.

(3) veramente interessante il passo seguente che il Klaproth riporta — nel testo arabo originale, aggiungendo la versione francese — dall'opera *Tesoro dei mercanti per la conoscenza delle pietre*, di Baïlak, scritta nel 681 dell'egira (1282 d. C.): « Tra le proprietà della calamita è a notarsi che i capitani che navigano nel mare di Siria, quando la notte è tanto oscura che non possono vedere alcuna stella per dirigersi secondo la determinazione dei quattro punti cardinali, prendono un vaso pieno di acqua che mettono a riparo dal vento, ponendolo nell' interno della nave: in seguito prendono un ago che fissano in una caviglia di legno o in una canna in modo da formare come una croce, lo gettano nell'acqua contenuta nel vaso, ed esso galleggia. Poi prendono una pietra di calamita abbastanza grande per riempire il palmo di una mano od anche più piccola. Essi l'avvicinano alla superficie dell'acqua, imprimono alle loro mani un moto di rotazione verso la destra in modo che l'ago giri su la superficie dell' acqua; poi ritirano le loro mani rapidamente, e certo l'ago con le sue due punte si volge al sud ed al nord. Ho veduto io stesso con i miei occhi fare ciò durante il nostro viaggio di mare da Tripoli in Siria nell'anno 640 (1242 d. C.). Si dice che i capitani che viaggiano nel mare dell'India rimpiazzino l'ago e la caviglia di legno con una specie di pesce di ferro, cavo e disposto per modo che, quando lo si getta nell'acqua, galleggia ed indica con la testa e con la coda i due punti del mezzodì e del nord ».

sud — il cenno più antico si trova nell'oriente, e si ha — Klaproth, pag. 68 — da una *Storia naturale* chinese scritta dal 1111 al 1117 in cui è detto che l'ago si dirige « 516 sud ». Nell'occidente essa venne riscoperta assai più tardi: su l'autore di quella scoperta e dell'altra — capitale — della *variazione*, da luogo a luogo, della declinazione, dopo il classico lavoro del Bertelli (1), non può essere dubbio che sia stato Cristoforo Colombo, al quale dunque spetta il merito di avere osservato cotesta « varietà » che « fino allhora mai non haveva conosciuto alcuno », come scriveva nella sua relazione il figlio di quel Grande (2).

La prima carta magnetica.
Ripr. dal *Terrestrial Magnetism a. Electricity*, 1.ª puntata.
È dell'Halley, e venne scoperta or sono pochi anni a Londra.

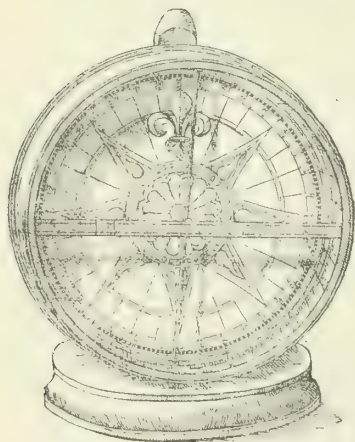
La variazione della declinazione, la quale in uno stesso luogo si produce coll'andar del tempo, fu riconosciuta definitivamente solo nel 1634 da Enrico Gellibrand, a Londra: Pietro Gassendi — avvertitone dal Valerio — riconfermò il fatto nel 1649 (3).

(1) *La declinazione magnetica e la sua variazione nello spazio scoperte da Cristoforo Colombo*, in Vol. IV, parte II della *Raccolta di documenti e studi pubblicati dalla R. Commissione Colombiana pel IV centenario della scoperta della America.* Roma, auspice il Min. della Pubbl. Ist., a. 1892. — Il lavoro del Bertelli è esauriente sia per le prove positive che per la trionfale confutazione di tutti gli argomenti addotti per contrastare al grande italiano il merito di quelle scoperte. Esse vennero fatte durante il celebre avventuroso viaggio, ed ebbero per punto di partenza quello spostamento verso *greco*, manifestatosi quando la squadra era in pieno Oceano, a distanza da ogni terra, che gettò il terrore nell'animo dei piloti e dei marinai. Sono interessanti le annotazioni del *Giornale* di bordo — tenuto dal Las Casas — riferentisi appunto a quelle prime constatazioni, e che riportiamo dal Bertelli. Sotto la data di domenica 9 settembre 1492: « I marinai governavano male, declinando sul quarto del grecale ed anche a mezzo quarto; il perchè l'ammiraglio più volte li riprese ». In data di giovedì 13 settembre si trova notato da Colombo che: « . . . al cominciar della notte le bussole *maestraleggiarono*; la domani, allo spuntar del giorno, *maestraleggiavano* ancora »; alla quale annotazione il celebre ed erudito spagnuolo Martin Fernandez de Navarrete — che accuratamente collazionò il *Giornale* con l'autografo del Las Casas — appone il giusto riflesso: « prima osservazione della declinazione magnetica ». Sotto la data di lunedì 17 settembre: « . . I piloti presero la direzione di settentrione che notarono e trovarono che gli aghi delle bussole *maestraleggiavano* di un *gran quarto*. I marinai mostraronsi timorosi e melanconici, e ne tacevano il motivo; ma l'ammiraglio essendosene accorto, ordinò loro marcar nuovamente il settentrione all'alba del giorno, e trovarono che gli aghi erano buoni. La causa di questo fenomeno proveniva da ciò, che la stella (*polare*) pareva muoversi mentre gli aghi restavano fissi ». Al qual punto il Navarrete aggiunge molto a proposito le seguenti giuste riflessioni: « L'ingegnoso Colombo, che fu il primo osservatore della variazione della bussola, tentava dissipare i timori dei suoi marinai, spiegando loro in maniera speciosa, la causa di questo fenomeno. Così assicuralo il suo storico Muñoz, ed era la verità, come lo provano le riflessioni che fa l'ammiraglio nel suo terzo viaggio su queste alterazioni della calamita; la sorpresa ed inquietudine dei marinai ed eziandio dei piloti, sono una prova decisiva che niuno fino allora aveva notata questa variazione della bussola. Tale è l'opinione di Bartolomeo Las Casas, di Fernando Colombo, e di Antonio Herrera, storici esatti e degni di fede ». Notiamo che le citazioni del *Giornale* il Bertelli le tolse dalla traduzione italiana — pubblicata dal Marmocchi, a Prato, nel 1840 — dell'opera del Navarrete sui *Quattro viaggi di Colombo*.

(2) Bertelli, *Intorno a due codici vaticani dell'*Epistola de Magnete *di Pietro Peregrino di Maricourt ed alle prime indicazioni della declinazione magnetica.* Estr. dal *Bollettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze matem. e Fis.*, Tomo IV, ag. 1871. Roma, Tip. delle Sc. Mat. e Fis., 1871.

(3) Bertelli, Mem. Colombiana gia citata.

Nel 1543 Giorgio Hartmann scopriva a Norimberga, e Normann determinava per la prima volta — a Londra, nel 1576 — la *inclinazione magnetica* — angolo che forma coll'orizzonte un ago magnetico girevole intorno ad un asse orizzontale, il quale passi per il suo centro di gravità e sia perpendicolare all'ago di declinazione. —

Su le osservazioni di cotesti elementi del magnetismo terrestre fatte prima del secolo XIX non ci diffonderemo più oltre. Noteremo solo che mentre bisogna venire al 1700 per trovare la prima carta magnetica — dovuta all'Halley — e non si ebbe certo di carte magnetiche una grande abbondanza, si poterono tuttavia nel secolo XIX raccogliere elementi copiosi (1) ed interessanti da fonti disparatissime. Così Van Bemmelen, compulsando negli Archivi dell'Aja vecchi giornali di bordo, ha potuto formare delle carte riguardanti la declinazione per il periodo dal 1540 al 1680; il Baker ha trovato i valori della declinazione nel 1791 e 92 per i luoghi di frontiera della Virginia e del Maryland con l'antico distretto di Colombia, ricorrendo alle pietre di confine, su le quali l'Ellicot, nel curarne la collocazione, aveva fatto incidere le *variazioni del compasso;* il Folghereiter, assistente all'Istituto Fisico di Roma, ha potuto costruire una carta dell'andamento della inclinazione, nell'Italia Centrale, dall'800 a. C. fino al termine del primo secolo dell'Era cristiana, con l'esaminare mattoni e vasi di terra cotta, e tener conto sia della loro epoca, sia della posizione che — perchè non si deformassero — essi dovevano avere nel forno durante la cottura — operazione per la quale essi conservano indefinitamente il magnetismo indottovi dalla Terra mentre essa si compie. —

Instrumentum declinationis.
Riprod. della fig. a pag. 185 dell'op. *De Magnete* del Gilbert., prima ediz., Londra a. 1600.

Circa la interpretazione dei fatti del magnetismo terrestre è cospicuo il libro pubblicato a Londra nel 1600 — *De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure Physiologia nova* — da Guglielmo Gilbert medico di Glochester, nel quale è posta e sviluppata la teoria che la Terra stessa è da considerarsi come una grande calamita, teoria che i posteri accettarono e vive tuttora. Il libro del Gilbert è inoltre il primo in cui si possano dire ridotte a corpo vero di scienza le nozioni sul magnetismo, e molte delle esperienze da lui immaginate e che egli vi espone si eseguiscono tuttora nei corsi. Ed in quel libro è foggiato il nome *Electrica* — sostanze elettriche — per indicare — lo definisce il Gilbert stesso — ciò che attrae l'*electrum.*

Dell'elettricità è veramente strano che fino alla metà del secolo XVII nulla — può dirsi — si sia saputo aggiungere a quanto avevano già osservato Talete e Teofrasto. Bisogna venire al 1660 per trovare. grazie a quello sperimentatore benemerito che fu Ottone di Guericke, un contributo di cogni-

(1) Vanno segnalati sopra tutti gli studi del Neumayer, del Weyer, del Littlehas, di cui la maggior parte è comparsa nell'eccellente periodico americano *Terrestrial Magnetism and Electricity*, le cui pubblicazioni cominciarono nel 1896.

zioni nuove, meritevoli di menzione. Il celebre borgomastro di Magdeburgo constatava, infatti, che i corpi leggeri possono venire elettrizzati avvicinandoli ad altri corpi elettrizzati, e mostrava come i corpi, una volta attratti dal corpo elettrizzato e respinti da esso, sono incapaci di una nuova attrazione se non vengano toccati di nuovo con corpo opportunamente elettrizzato.

A lui è dovuta inoltre la prima macchina elettrica — un globo di solfo fuso in un pallone di vetro, e montato su di un asse per rotazione —; macchina che il Newton poco dopo — 1675 — perfezionava, sostituendo un globo di vetro a quello di solfo, e degli strofinatori alle mani.

Notiamo, di quell'epoca, la pubblicazione di due opuscoli dell'Hooke su la produzione meccanica dell'elettricità e su quella, pure meccanica, del magnetismo (1); quello su l'elettricità — osserva il prof. S. P. Thompson — « è di grande interesse, essendo il primo libro su l'elettricità pubblicato in Inghilterra » e certo tra i primi — se pure non il primo — nel mondo.

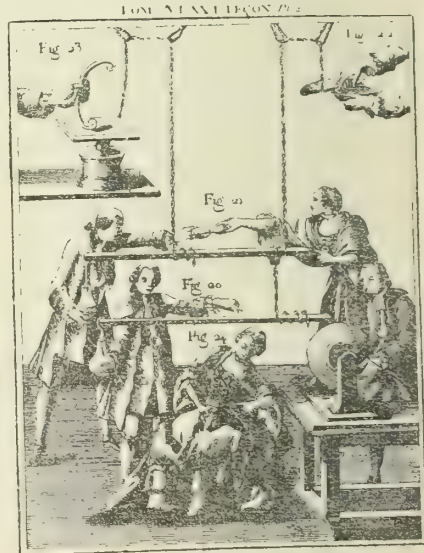
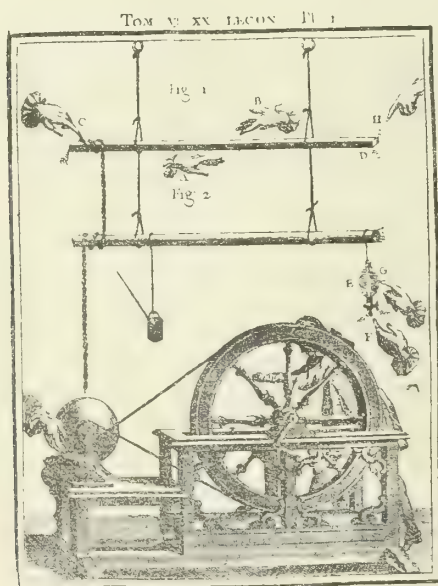
Fra gli sperimentatori del primo quarto del secolo XVIII meritano menzione l' Hauksbee ed il Gray. Riservando a più avanti il dire del primo, ricorderemo qui che al secondo — « *On Account of Some new Electrical Experiments* », in *Phil. Trans.* dell'ultimo quadrimestre del 1720, pag. 104 — spetta il merito di avere esteso notevolmente il numero dei corpi elettrizzabili — piume, capelli, seta, lino, lana, carta, cuoio, legno, pergamena, intestini di bue —; a lui pure quello della scoperta del fatto che il corpo umano è conduttore.

Magnetizzazione di ferro durante la lavorazione, dipendentemente dal trovarsi essa nella direzione nord-sud.
Ripr. della fig. a pag. 139 dell'op. *De Magnete* del Gilbert, ediz. di Londra del 1600.

Da quest'epoca gli studi su l'elettricità andarono destando interesse sempre maggiore ed estendendosi. Venne quindi il periodo in cui — 1733 — il Winkler — professore di greco a Lipsia — ed il Boze — professore a Wittemberga — perfezionavano la macchina elettrica aggiungendole, l'uno buoni strofinatori fissi, l'altro un conduttore; il Du Fay, in sei memorie tra le più notevoli dell'epoca — *Mém. de l'Ac. R. d. Sc.* a. 1733 e 1734 — portava un contributo molto importante di fatti e di idee nuove, e stabiliva la esistenza di due stati elettrici diversi, ch'egli chiamava *électricité vitrée ed électricité résineuse*, non perchè pensasse « qu'il n'y a que les corps de la nature du verre qui soient doués de l'une, et les matières résineuse de l'autre », ma « parce

(1) I due opuscoli formavano parte di una serie di opuscoli stampati a Londra nel 1675 e 1676 col titolo comune « *Experiments, Notes etc. about the Mechanical Origin or Production of divers particular Qualities* », e con una prefazione in data del 1675. Il primo tratta del caldo e del freddo — *Of Heat and Cold* —; gli ultimi due sono appunto quelli *Of Magnetism* — del 1676 — e *Of Electricity* — del 1675. Essi sono divenuti rarissimi. Il professore Silvanus P. Thompson di Londra ne fece nel 1898 una ristampa in 250 esemplari, non posti in commercio.

que le verre et la copal sont les deux matières qui ont donné lieu de découvrir ces deux differentes électricités». Il medesimo, poi, scopriva che l'elettricità si propaga facilmente lungo un filo bagnato, trasportandola questo — egli aveva constatato — attraverso ad una distanza di oltre milleduecento piedi; il Desaguliers — 1739 — classificava i corpi in conduttori e non conduttori; il Ludolf — 1744 — a Berlino, mostrava come la scintilla elettrica potesse infiammare certe sostanze, tra cui l'etere; il Gordon — 1742 — ad Erfurth, sostituiva nella macchina elettrica il cilindro di vetro al globo; e — fatto che doveva esercitare una grande influenza su gli studi ed i progressi relativi alla elettricità — dal von Kleist decano della cattedrale di Kamin in Pomerania — 1745 — dal Musschenbroeck e dal Cuneus di Leida — 1746 — (1) si inventava la *bottiglia* detta appunto *di Leida;* il Nollet, poi, sperimentava subito con cotesto nuovo e sorprendente apparecchio, dando la scossa — 1746 — ad un intero reggimento, osservava i fiocchi luminosi uscenti dalle punte elettrizzate, studiava gli effetti dell'elettrizzazione su gli animali e su le piante, vedeva relazioni intime tra il fulmine e la scintilla elettrica.

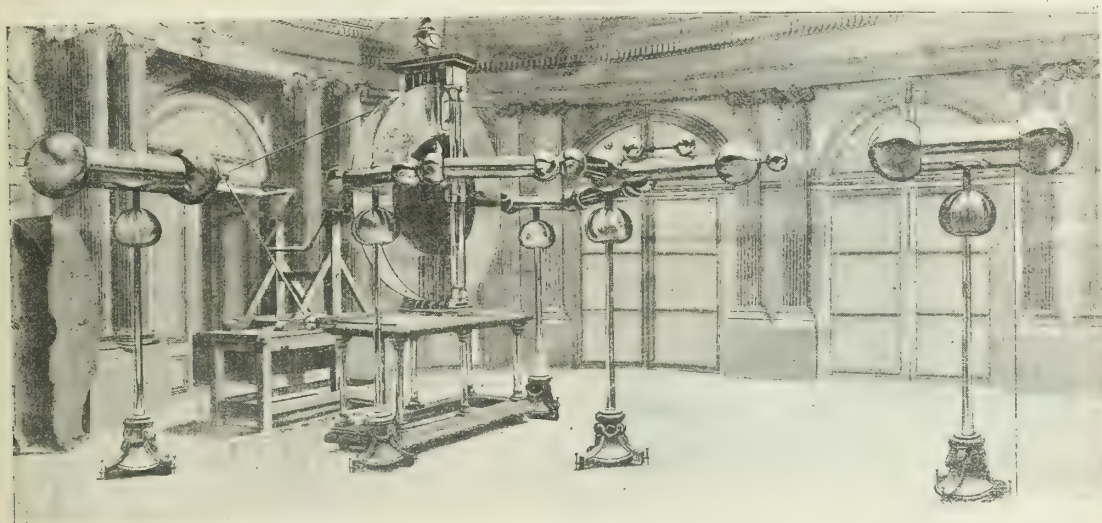
È quello il periodo che prelude all'altro tanto fecondo, aperto dalla celebre

Esperienze elettriche del Nollet.

Ripr. delle Tav. a pag. 250 e 486 del T. VI dell'ediz. orig. delle *Leçons de Phys. Exp.* del Nollet, Parigi a. 1764.

scoperta con cui il Franklin a mezzo il secolo XVIII coronava le sue numerose, mirabili, e memorande esperienze, a proposito delle quali l'Humboldt scriveva: «a partire da questo periodo l'elettricità passa dal dominio della fisica speculativa in quello delle scienze positive» (2); periodo, in cui si andava preparando la invenzione della pila.

(1) Pare che al von Kleist spetti la priorità: ma l'esperienza di lui, esposta in una lettera al d. Lieberkühn che la comunicava all'Accademia di Berlino, non potè essere ripetuta da altri perchè descritta non chiaramente. Quanto al Musschenbroeck ed al Cuneus, la loro invenzione sarebbe affatto indipendente dall'esperimento del von Kleist

(2) MOTTELAY in *Lum. Électr.*, a. 1892, T. XLIII, pag. 221.

Quella della bottiglia di Leida, le esperienze del Nollet, la scoperte e le idee del Franklin avevano fatto crescere a dismisura l'interesse dei fisici per l'elettricità; si sentiva quale immensa potenza era in essa e di quanti e disparati effetti era capace (1). Onde, si cercarono ansiosamente i mezzi per isvolgerla o per accumularla in grande copia, e si ebbero a Londra la macchina a disco — 1768 — del Ramsden e l'altra — 1774 — del Nairne, a cilindro, in cui sono tutte le parti della nostra macchina elettrica; si ebbe — notevole sopra tutte — la « sì grande e magnifica macchina » — come la chiamava il Volta in una delle celebri lettere al Lichtenberg — del Van Marum — 1785

La grande macchina del Van Marum.

Ripr. dall'op. del Van Marum: *Prém. continuation des exp. faites par le moyen de la Mach. Teylerienne*, Haarlem 1787. — In realtà la tavola qui riprodotta — in dimens. molto ridotte — era dest. al vol. *Déscr. d'une très gr. Mach. Électr. placée dans le Mus. de Teyler,* pubbl. dal Van Marum nel 1785.

(1) Importa però di fare una osservazione sul carattere di quell'epoca, quanto all'indirizzo delle ricerche su l'elettricità; e la faremo valendoci di quel magistrale riassunto che ne dà Augusto Righi nella monografia « *Volta e la Pila* » letta in Como il 18 settembre 1899, inaugurandosi il *Primo Congresso Nazionale di Elettricità* « La novità e sin la stranezza di tali fenomeni, a noi oggi così famigliari, » scrive l'illustre fisico nostro « dovevano vivamente colpire l'immaginazione, e far sì che ad essi si appassionassero anche molti, che per indole di studi o per posizione sociale erano fino ad allora rimasti estranei alle scienze sperimentali od almeno alla fisica. Questa circostanza non può non avere contribuito a quell'andamento quasi sempre di mera osservazione di fatti isolati, che ebbero le ricerche sino al tempo di Volta. Ad ogni modo, scorrendo questo periodo storico, raramente s'incontra chi abbia tentato di coordinare i fenomeni osservati e di risalire alle loro cause, o, facendolo, abbia saputo emanciparsi completamente dai dominanti preconcetti metafisici

Quasi tutti gli sperimentatori si compiacevano sopra tutto nel variare le condizioni e le modalità dei fenomeni collo scopo di renderli più meravigliosi. Per esempio, si elettrizzava una persona isolata, anzichè un qualunque conduttore, onde trarre poi da essa scintille, colle quali accendere corpi combustibili; si faceva passare l'elettricità da una persona ad un'altra mediante un getto d'acqua, piuttosto che per diretto contatto; si trasmetteva la scarica della boccia di Leyda attraverso molte persone disposte in catena, e via dicendo . . . .

Tanto più campeggiano quindi nella nostra ricordanza i nomi di quei pochi uomini superiori, che cercarono fin d'allora di approfondire la conoscenza dei fenomeni elettrici, e di riunirli razionalmente in un corpo di dottrina. Ricordiamo Watson e gli altri della Società Reale di Londra, che vollero esaminare sino a quale distanza e con quale velocità la scarica elettrica potesse essere trasmessa da un filo; Nollet, Mainbray e gli altri, che cercarono d'indagare se e quali effetti si producessero tenendo a lungo elettrizzati piante ed animali; Beniamino Franklin, che emerge sopra tutti e le cui lettere dirette al Collinson della Società Reale di Londra, tradotte poi in quasi tutte le lingue europee, contengono, oltre alla narrazione delle esperienze che lo condussero alla invenzione del parafulmine, l'esposizione della teoria unitaria del fluido elettrico, da Volta adottata e professata poi sempre Rammentiamo altresì il Beccaria, per le sue osservazioni numerose ed accurate sulla elettricità atmosferica; il Canton, cui si debbono, fra altre, le esperienze su l'influenza elettrica; il Symmer, per i suoi studî sull'elettricità di strofinamento e per la sua teoria dei due fluidi elettrici ».

— al museo Teyler di Haarlem, i cui due dischi misuravano, in diametro, 65 pollici inglesi — 1,64 m. — e con la quale l'illustre fisico olandese volatilizzava metalli, scopriva che l'ossigeno attraversato da ripetute scariche elettriche acquista un odore particolare, otteneva effetti luminosi di scintille e pennacchi veramente cospicui — scintille della lunghezza di 60 centimetri e notevoli per la grossezza « d'un tuyeau de plume » e per le numerose ramificazioni; pennacchi di 25 a 27 centimetri di lunghezza —.

Coulomb (*).
Dal busto app. al *Conservatoire Nat. des Arts et Métiers* di Parigi.

E, mentre si andavano ideando per la accumulazione dell'elettricità l'uso di lastre di vetro armate con foglie metalliche su le due faccie, come fece prima lo Smeaton, od apparecchi quali il quadro frankliniano e — 1757-59, ad opera anche del Wilke, il quale caricava elettricamente una lamina d'aria — il condensatore di Æpinus, la costruzione delle batterie di Leida si faceva su scala sempre crescente nelle dimensioni, sì che alcune di quelle batterie rimasero celebri nella storia; citiamo quella del Nairne che aveva una superfice armata di cinque metri quadrati, e l'altra — di ben trentacinque giare, ciascuna d'un piede quadrato di armatura — fatta costruire dal Van Marum per il Museo Teyleriano e da lui descritta e fatta raffigurare in un interassante volume del 1785.

Tutto però doveva impallidire di fronte all'opera ed all'invenzione del Volta, alle quali veniamo subito, non appena notato che lungo quel periodo si era anche cominciato a sentire il bisogno di assoggettare l'elettricità alla misura: così avevano costruito l'Henley — 1772 — il suo elettrometro a quadrante, il Lane — 1767 — lo spinterometro; ai quali apparecchi si aggiungevano gli elettroscopi a doppio pendolino del Cavallo e del de Saussure, e — fatto notevole soprattutto, poichè con quei lavori si veniva a fondare veramente l'elettrostatica — il Coulomb, segnatamente con tre memorie che lo mettono al primo ordine tra i fisici, stabiliva le leggi delle attrazioni e ripulsioni elettriche e magnetiche, misurava le perdite della carica di un corpo elettrizzato nell'aria e lungo i sopporti (1).

(*) *Cliché* cortes. fav. dai sig. Sartiaux ed Aliamet e da essi pubbl. nel « *Princip. Découv. et Publ. concernant l'Électr. de 1562 a 1900* ». Parigi, Rueff, 1903.

(1) Del Coulomb rimangono parecchi lavori importanti anteriori alle tre memorie alle quali si allude sopra; essi sono pubblicati nei *Mém. des Sav. Ètrangers* e nei *Mémoires de l'Ac. R. di Sc.* I lavori però, ai quali è dovuta la sua fama immortale sono i seguenti, raccolti tutti nel vol. dei *Mém. de l'Ac. R. d. Sc.* per l'anno 1875: I. « *Construction et us. d'une Balance électr., fondée sur la propr. qu'ont les Fils de mètal, d'avoir une force de réaction de Torsion proportionelle à l'angle de Torsion. Déterm. exp. de la loi suiv. laquelle les élémens des Corps électrisés du même genre d'Electricité se repoussent mutuellement* » pag. 569 a 577; II. « *Second Mém. sur l'Électr. et le Magné-*

Venendo ora ad Alessandro Volta, diciamo subito che non è di opere come quella del genio comasco che si possa parlare in poche righe. Rimandando pertanto il lettore ai molti e magistrali lavori che essa ha ispirato (1), dovremo tenerci paghi di solo ricordarne i punti salienti.

Cominciata in modo che costituiva una grande promessa — il Volta appena uscito d'adolescenza prendeva ad argomento de' componimenti poetici le esperienze più in voga su l'elettricità e le osservazioni fatte sul Monte Bianco dal

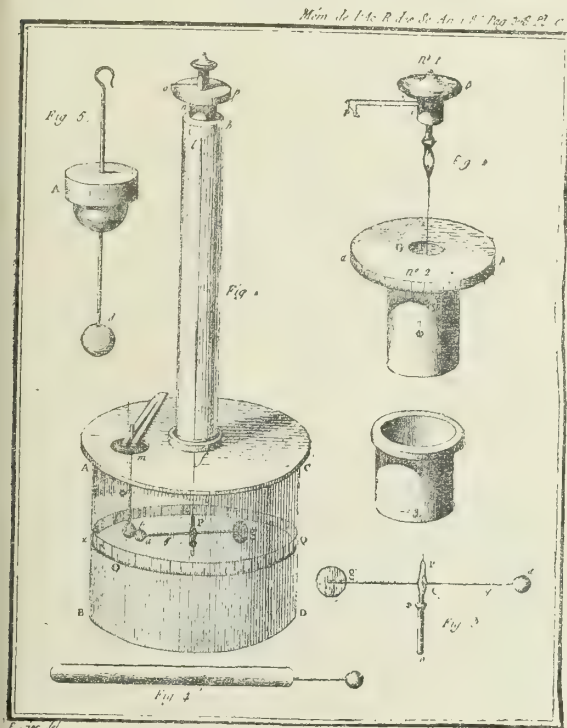



Fig. 1.

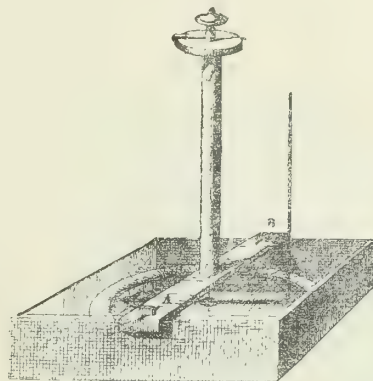



Fig. 2.

Le *bilance* con le quali il Coulomb determinò le leggi delle attraz. e ripuls. elettriche e magnetiche.

Ripr. delle fig. a pag. 576 e 610 dei *Mém.* annessi all'*Hist. de l'Ac. R. d. Sc.* per il 1785. Mem. I e II cit. nel testo, pag. 404 nota 1.

Legg. espl. — Fig. I. Bilancia per l'elett. Fig. 2. Sim. per il magnetismo.

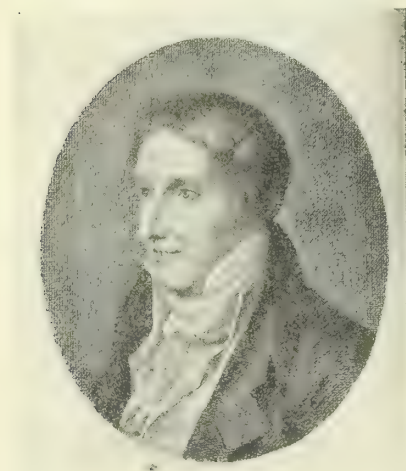
de Saussure nella celebre ascensione, e giovanissimo, tenendosi in corrispondenza col Nollet e con altri fisici, si erudiva in modo veramente singolare, sì che a ventiquattro anni dettava il *De vi attractiva ignis electrici* (2) ed a ventisei (3) il *Novus ac simplicissimus electricorum tentaminum apparatus* — l'opera del Volta doveva ben presto assurgere alla più alta importanza con quegli studi che lo condussero alla invenzione dell'*elettroforo perpetuo* — del

tisme, où l'on déterm. suiv. quelles loix le fluide magnétique, ainsi que le fluide éléctrique, agissent, soit par répulsion, soit par attraction » pag. 578 a 611; III « *De la quant. d'Électr. q'un corps isolé perd dans un temps donné, soit par le conctact de l'air plus ou moins humide, soit le long des soutiens plus ou moins idio électr.* » pag. 612 a 638.

Sarà qui il caso di notare come fino dal 1731 — *Mém. de l'Ac. R. d. Sc.* p. 417 a 432 — il Du Fay — per controllare certe idee del Cartesio su la diversa potenza attrattiva dei poli di un magnete — avesse eseguito delle misure valendosi di un apparecchio in cui un ago magnetico veniva richiamato alla posizione iniziale della reazione elastica di una molla spirale di rame.

(1) Notiamo tra i più recenti, come atti ad illustrare l'opera multiforme del Volta, sia in generale nella fisica che in particolare nella elettricità: « Alessandro Volta e il suo tempo », Conferenza del Professore Alessandro Volta j.re coll'aggiunta della lettera in. del Volta al P. Barletti (1777) sulla *pistola elettrica*; Milano, P. Carrara, giugno 1900. — « Raccolta Voltiana » edita per cura della Società Storica Comense e del Comitato esecutivo per le onoranze a Volta, Como, Ostinelli, 1899. — « Volta e la Pila » del Righi, già cit. a pag. 403, in nota. — Bibliografia Voltiana » e la « Aggiunta » di F. Fossati, rispettiv. in *Memorie* del R. Ist. Lombardo di Sc. e Lett., Vol. X, a. 1900, ed in *Rendiconti*, Vol. XXXIV, a. 1901. — « Notizie sulla letteratura voltiana ». Comunicaz. di Carlo Somigliana al *Congr. Internaz. di Sc. Stor.*, Roma, 1903. — « *La correspondance de A. Volta e M. van Marum, publ. par T. Bosscha, Sécr. de la Soc. holl. di Sc.* » Leyda, Sijthoff, 1905. — Su la storia della teoria del contatto, poi, va segnalato il lavoro di Tito Martini « La teoria voltiana del contatto e le sue vicende », nella Rivista *L'Ateneo veneto*, 1891.

(2) È datato da Como il 18 aprile 1769, e dedicato al celebre padre Giovanni Beccaria che professava fisica all'Università di Torino. (3) Stampato in Como nel 1771 e dedicato allo Spallanzani.

quale parla nella lunga lettera 10 giugno 1775 al Priestley — con quelli *Sopra la capacità dei conduttori elettrici* — riferiti nella lettera 20 agosto 1778 al de Saussure — e con gli altri sull'*aria infiammabile* e sulla *costruzione d'un moschetto e d'una pistola* ad aria infiammabile — vegg. le sette lettere dirette tra il 14 novembre 1776 ed il 15 gennaio 1777 al padre Carlo Giuseppe Campi sul primo argomento, e le tre altre lettere dirette, tra il 17 aprile e il 15 maggio del 1777, al marchese Francesco Castelli —; sul nuovo *eudiometro* — che è descritto nei primi tre volumi degli *Annali di chimica* del Brugnatelli, rispettivamente a pag. 171, 161, 36, e seguenti; e del quale il Volta dava notizia al Priestley con lettera datata da Como il 2 settembre 1777 —; sul *Condensatore* — memoria, di cui la prima parte veniva comunicata alla *Royal Society* di Londra nel 1782 — *Phil. Trans.*, T. LXXII, parte I, a. 1782 —.

Alessandro Volta.
Dal ritratto del Sabatelli, incis. del Morghen.

« Leggendo questi scritti, e più particolarmente quelli che si riferiscono alle ricerche che lo condussero all' invenzione dell' elettroforo, ognuno di noi deve essere stato colpito dall'acume singolare con cui egli sa trarre partito da ogni dettaglio di osservazione, e dalla abilità somma con cui sa far convergere allo scopo in vista le circostanze favorevoli.... Se negli studi su l'elettroforo spiccano l'ingegnosità ed il retto criterio sperimentale, nella Memoria sulla capacità dei conduttori vediamo risaltare sopra tutto lo spirito scientifico rigoroso . . . Leggendo la limpida narrazione delle successive modificazioni per mezzo delle quali dall'elettroforo destinato a fornire elettricità ad alto potenziale, egli si accosta a grado a grado ed arriva al nuovo istrumento (1) destinato a mostrare l'esistenza di elettricità a potenziali bassissimi si resta compresi di profonda ammirazione (2) ».

La quale crescerebbe — se possibile — ancora più, quando — come è a a farsi — si tenessero presenti le condizioni dei tempi « . . . Si considerano l'esperienze troppo superficialmente » scriveva il Volta al Priestley « e la maggior parte s'appaga, e si compiace di pompa e di fracasso. È cosa assai umiliante, ma pur troppo certa, che anche fra i sedicenti Fisici, vi sono dei veri fanciulli! Havvi chi delle esperienze di Fisica ne fa un mestiero, per non dire una ciarlataneria. Io talora arrossisco in luogo di compiacermi, quando penso che colla mia Pistola, e colla maniera singolare di caricarla fornisco materia ai loro giuochi da saltimbanco » (3).

E v'è dell'altro ad aggiungere. Troviamo infatti ancora gli studi e le osservazioni su la elettricità naturale, a cui si riferiscono le nove lunghe lettere sulla *meteorologia elettrica* — dirette al Lichtenberg, professore a Gottinga — nelle quali sono molte idee « che tuttora devono essere considerate

(1) L'elettrometro condensatore, o *condensatore* come lo chiama il Volta.

(2) A. Righi, *Volta e la Pila.*

(3) *Collezione delle Opere del Cavaliere Conte Alessandro Volta patrizio comasco.* Firenze, Piatti, a. 1816, T. III, pag. 179.

come esatte (1) »; e — continuazione naturale di esse — la Memoria *Sopra la grandine*; intorno alla quale ben giustamente nota il Righi che la teoria della grandine proposta dal Volta, che « fa dipendere la congelazione dal freddo dovuto ad una rapida evaporazione, è, nelle sue linee generali, ammessa ancora dai più; e l'ingegnosa ipotesi della danza elettrica dei piccoli ghiacciuoli fra nubi oppostamente elettrizzate, immaginata dal Volta per ispiegare il loro ingrossamento e la loro prolungata sospensione, se generalmente viene considerata come insufficiente, non può essere detta assurda ».

Che se poi a tutto cotesto si aggiungono gli studi sui gas e sui vapori di cui già si discorse — pag. 172 e 173 — si vedrà quale altissimo posto spetti al Volta indipendentemente da quegli studi e da quella invenzione che ne sono certo — anche malgrado tanta importanza dei rimanenti — il titolo maggiore di gloria, e ne hanno reso tanto popolare il nome.

Cotesti studi e cotesta invenzione si collegano — è notorio — con i lavori del Galvani su la elettricità animale.

Diciamo di passaggio che durante il secolo XVIII si era molto coltivato lo studio sia della elettricità propria di certi animali, sia — e più — delle azioni che questi risentono dalla elettricità; sul primo punto valgano d'esempio, per larghezza di trattazione, la memoria del de Reaumur *Des effets que produit le Poisson appellé en François Torpille ou Tremble sur ceux qui le touchent; Et de la cause dont ils dépendent* — nei *Mém. de l'Ac. R. d. Sc.*, per l'anno 1714, vol. pubbl. nel 1717, p. 340 a 360 — e, con gli studi del Walsh, quelli dello Spallanzani su la torpedine — Vegg. *Observations sur la Phys.* del

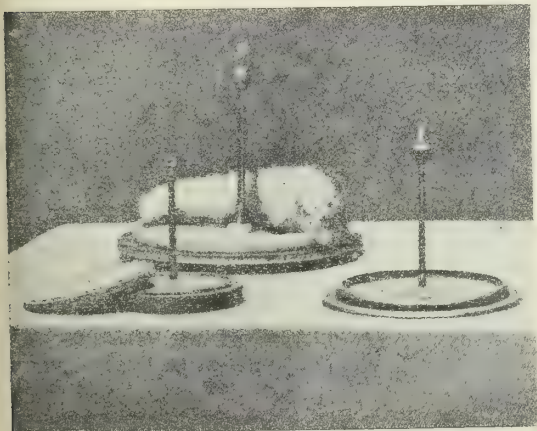
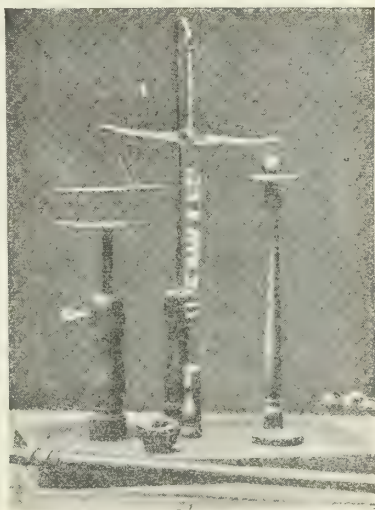



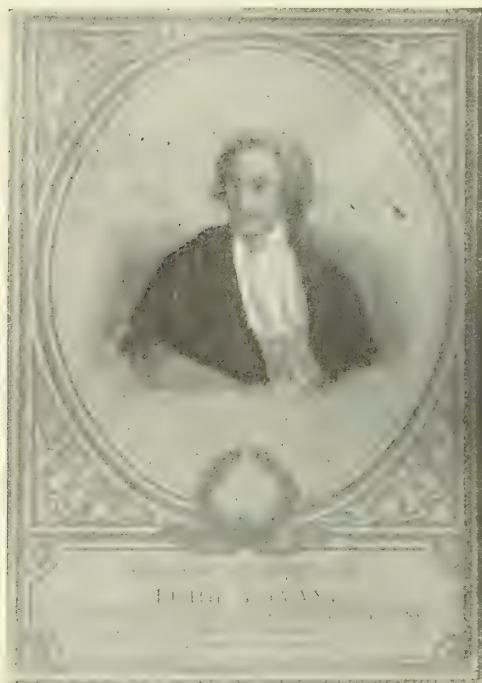
Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

Cimeli del Volta, già propr. del *R. Ist. Lomb. di Sc e Lett.*

Dalle Tav. III, IX e X del Vol. *Raccolta Voltiana, edita a cura della Soc. Stor. Com.*; Como, Ostinelli, 1899.

Per cort. conc. della ben. *Società Storica Comense.*

Legg. espl. — Fig. I. *Elettrofori.* Parzialmente distrutti dall'incendio dell'Esp. Voltiana. Fig. 2. *Elettrometro condensatore.* Parz. distr. Fig. 3. *Bilancia dell'az. elettr. in rapp. colle distanze.* Parz. dist.

(1) Si è in quelle lettere che il Volta descrive l'importante innovazione del mutare l'elettroscopio a pendolini in un elettrometro a pagliuzze, l'ingegnoso metodo di esplorazione dello stato elettrico dell'atmosfera mediante l'impiego della fiamma, ed espone l'idea di valersi di una bilancia per « poter fissare invariabilmente la forza elettrica col determinare la quantità di ripulsione, che ne nasce tra due date superficie metalliche »; idea cotesta, dalla quale, diremo ancora col Righi « un passo solo, benchè importantissimo, restava a farsi, perchè da questa disposizione sperimentale si arrivasse al moderno elettrometro ad anello di guardia di lord Kelvin », vale a dire ad uno degli istrumenti più ingegnosi, squisiti e benemeriti della scienza moderna.

Galvani.
Dal ritratto pubbl. dalla R. Acc. delle Sc. di Bologna.

Rozier, a. 1783, T. XXIII, p. 217 a 220 — ricchi di fatti interessantissimi, e da cui escivano annientate affermazioni dello Schilling di Utrecht e del sommo naturalista di Upsal, il Linneo; sull'altro la bella monografia del Watson relativa alla cura elettrica di un male d'indole tetanica (1).

È noto poi come di cotesti studi fosse appassionato ed insigne cultore il Galvani, e come egli — « desideroso di rendere proficue, quanto più era possibile, le scoperte fatte, sui nervi e sui muscoli, con non lievi fatiche dopo molti esperimenti » secondo quanto dice egli stesso — pubblicasse nel 1791 quello scritto *Sull'azione dell'Elettricità nel moto muscolare*, di cui il Volta in una classica Memoria — la prima delle *Memorie sull'Elettricità animale* — letta nell'Aula dell'Università di Pavia in occasione di una promozione, il 5 maggio 1792, diceva che « contiene una di quelle grandi e luminose scoperte, che meritano di far epoca negli annali delle Scienze fisiche e mediche, non tanto per ciò che ha in sè stessa di nuovo, quanto perchè apre un largo campo di ricerche non meno interessanti che curiose, e di utilissime applicazioni » (2).

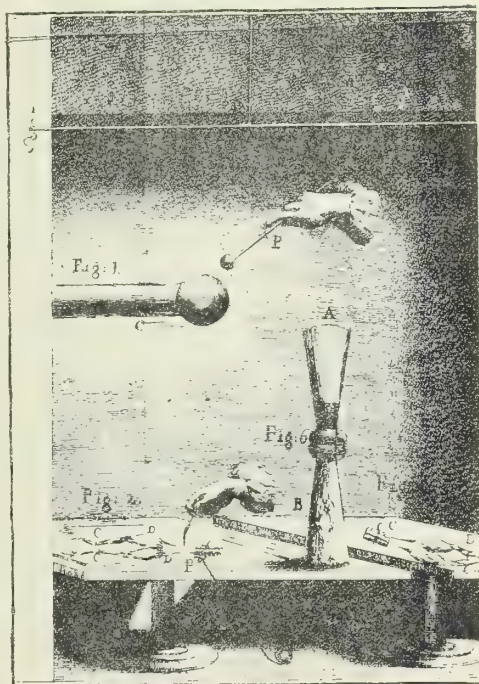
(1) « *Observations upon the effects of Electricity applied to a Tetanus or Muscolar Continuance, in a Letter to the R. Society* » Londra, Richardson and Clark, a. 1763, e riguarda la cura fatta con buon esito su una fanciulla di sei anni, ricoverata al *Foundling Hospital*, al quale il Watson era addetto come medico. Richiamarono l'attenzione del Nollet, che ne scrisse tosto appunto al Watson — *Phil. Trans.*, a. 1752, p. 399 — anche gli studi di *medicina elettrica* del Bianchini a Venezia. E per mostrare che certe cose sono di tutti i tempi e di tutti i luoghi ricorderemo il plagio commesso da un boemo, il Dr. Bohadsch, che pubblicava — a Praga nel 1751 — una *Dissertatio philosophico-medica de utilitate electrisationis in curandis morbis*, della quale il Watson — *Phil. Trans.*, T. XLVII, p 351 — trovava che conteneva di più di quanto il titolo indicava, ma che vi era venduta come roba originale una parte dei lavori del Nollet — le pag. dalla 358 alla 380 del *Rèch. sur les causes partic. des phèn. électr.* — che il Bohadsch aveva semplicemente tradotto in latino.

Vedasi, su l'interesse che destavano gli studi sulla elettricità animale, anche la Dissertazione dell'Aldini premessa al *De viribus Electricitatis in motu muscolari* del Galvani, ediz. di Modena, 1792.

(2) Su l'origine degli studi del Galvani si sono intessuti — e corrono — racconti affatto immaginari. Anzitutto notiamo col Righi — *l c.* p. 17 — che sino dal 1780 egli si occupava delle ricerche, le quali dovevano condurlo al suo famoso esperimento. Aggiungiamo poi che la narrazione del primo esperimento, quale la fa egli stesso nel *De viribus Electricitatis in motu muscolari Commentarius*, distrugge ogni leggenda, ed in particolare quanto si dice intorno ad osservazioni fatte *assente il Galvani* dal suo Laboratorio, da uno degli assistenti, e che, riferite al grande fisiologo, lo avrebbero indotto all'esperimento divenuto poi tanto celebre. Cotesta narrazione è da noi riportata in traduzione fedele ad illustrazione della figura in cui lo stesso esperimento è rappresentato. — Ricorderemo, a proposito del Galvani, un curioso esperimento eseguito davanti all'Accademia di Francia nel 1700 dal du Verney, e di cui riportiamo il racconto — traducendolo letteralmente — dal volume per l'anno 1700 — pubblicato nel 1703 — dell'*Histoire de l'Ac. R. des Sc.*, pag 40: « Egli » — il du Verney — « mostrò su una rana morta di fresco, come, prendendo nel ventre dell'animale i nervi che vanno alle coscie ed alle gambe, ed irritandoli un po' con lo scalpello, coteste parti fremono, e soffrono una specie di convulsione. Poi tagliò cotesti medesimi nervi nel ventre, e tenendoli un po' tesi con la mano, ha fatto loro produrre il medesimo effetto mediante l'identico movimento dello scalpello. Se la rana era morta da un maggior tempo, ciò non accadeva affatto. Apparentemente rimanevano ancora in cotesti nervi dei liquidi, la cui ondulazione cagionava il fremito dove essi rispondevano, e quindi i nervi non sarebbero che dei tubi, il cui effetto dipenderebbe dal liquido che essi contengono ». Come si vede, il du Verney non seppe andare oltre il fatto materiale della commozione, e si acquietò subito nella probabilità di una ipotesi di indole puramente meccanica. Dopo ciò, sarà interessante il notare come il Motteley — *Lum. Él.*, a. 1891, T. XL, p. 178 — a proposito di quella osservazione, scriva: « Joseph Guichard Duverney (*sic*), éminent anatomiste français, savait à cette date — 1700 — que les membres d'une grenouille se contractent par un courant életrique ». Amiamo credere che l'illustre scrittore francese non abbia visto l'*Hist. de l'Ac. R. d. Sc.*

Pure notissimo si è come il Galvani fosse indotto a stabilire la esistenza di una elettricità propria degli animali; come il Volta fosse dapprima partigiano convinto, quasi entusiasta, di quella teoria, e come invece, dippoi — grazie a quello spirito per il quale, come diceva l'Arago nell'elogio letto all'*Académie des Sciences* di Parigi, egli « non abbandonò mai un soggetto senza averlo prima considerato sotto ogni aspetto » — gradatamente si scostasse dalle idee del Galvani fino a stabilire una teoria completamente nuova, la *teoria del contatto* (1) secondo la quale — lo diremo con le parole stesse del Volta nella prima delle tre lettere al Vassalli, scritta il 31 dicembre 1793 e mandata il 10 febbraio successivo — « tutta l'azione procede originariamente dai metalli combacianti un corpo umido qualunque, o l'acqua stessa; in virtù del quale combaciamento viene spinto avanti il fluido elettrico in esso corpo umido ed acqueo dai metalli medesimi, da quale più da quale meno (più di tutti dal zinco, meno quasi di tutti dall'argento); onde indotta una comunicazione non interrotta di acconci conduttori è tratto esso fluido in continuo giro » (2).

L'organo elettrico della torpedine secondo il de Reaumur.
Ripr. della fig. 3, della II Tav. accomp. la mem. del de Reaumur cit. nel testo, pag. 407.

E come il combattere una teoria curiosa e rimasta celebre — quella dell'*elettri-*

Il primo dei celebri esperimenti del Galvani.
Ripr. delle fig. 1 e 2 della Tav. I dello scritto del Galvani: *De viribus electricitatis in motu muscolari*, ediz. di Modena, 1792.
Legg. espl. — Traduciamo letteralmente dal lavoro del Galvani: « Sezionai e preparai una rana come in Fig. 2, Tav. 1, e, con l'intenzione di occuparmi di tutt'altro, la posi sopra la tavola su la quale era la macchina elettrica, tenendola separata affatto dal conduttore di essa, e lontana per non breve spazio. Mentre uno dei miei assistenti a caso moveva molto leggermente la punta dello scalpello nei nervi crurali interni di cotesta rana, si videro subitamente i muscoli tutti degli arti contrarsi per modo da sembrare presi dalle più violente commozioni tetaniche. Ad uno degli assistenti addetti alla parte elettrica delle esperienze parve che la cosa avvenisse quando scoccava la scintilla dal conduttore della macchina. Meravigliato della cosa, avvertì tosto me che stavo intento a tutt'altro e sopra pensieri. Fui preso allora da incredibile smania di farne la prova e di venire in chiaro del lato misterioso della cosa. Il perchè mi diedi a muovere personalmente la punta dello scalpello su l'uno e l'altro nervo crurale, mentre uno dei presenti provocava la scintilla. Il fenomeno si presentò perfettamente alla medesima maniera; si producevano, infatti, contrazioni veementi nei singoli muscoli degli arti, come se l'animale preparato fosse preso dal tetano, proprio nel medesimo istante in cui si traevano le scintille ».

(1) Nel Galvani — dall'esperimento di cui riportiamo la narrazione che egli stesso ne dà, e dopo una moltitudine di altre prove eseguite valendosi dell'elettricità svolta dalle ordinarie macchine elettriche, di quella temporalesca e di quella « diurna e placida » — era sorto « il sospetto » di una elettricità inerente all'animale medesimo »: ed il « sospetto » si era andato gradatamente trasformando in convincimento profondo, così che egli si faceva a bandire la esistenza appunto di una elettricità animale. Il Volta, che — « in seguito alle stupende scoperte del signor Galvani », come scriveva egli stesso nella lettera 3 apr. 1792 al Baronio — si era « subito applicato » a ripetere le esperienze e studiarne e variarne le condizioni, abbracciava tosto la teoria di « questa elettricità propria e nativa degli animali, non estranea e infusa altronde ». Ma poi, poco a poco, studiando quale influenza esercitassero i metalli con cui si stabilivano le comunicazioni tra gli organi della rana, variando in mille maniere le esperienze, poco a poco abbandonava quell'ordine di idee per venire senz'altro a ritenere che l'animale — lungi dall'essere l'organo in cui si produceva la elettricità — non fosse invece se non l'arco attraverso al quale si scaricava l'elettricità svolgentesi nel contatto dei metalli con cui si faceva arco tra nervi muscoli.

(2) Questa e le altre citazioni del Volta, non accompagnate da speciale indicazione, sono tolte dalla *Collezione dell'Opere del Cavaliere Conte Alessandro Volta patrizio comasco*, Firenze, Piatti, 1816.

città vindice, che il P. Beccaria aveva sostenuto al fine di spiegare fenomeni osservati dal Wilke e dall'Æpinus in Germania, qui dal Beccaria stesso e dal Cigna, nipote di lui — lo aveva portato ad una grande invenzione — quella dell'*elettroforo* — così la ricerca della verità nella cagione dei fatti dell'elettricità animale lo guidava ad un'altra, meravigliosa per la semplicità, portentosa negli effetti, immensa nella influenza che ha esercitato sulla civiltà e sui destini del mondo; vogliamo dire alla invenzione della pila; « invenzione » — come dice il Bosscha (1) — « che non è solo memorabile per il progresso immenso che essa ha realizzato con l'aprire la via alla serie delle scoperte brillanti del secolo XIX; l'elettrolisi, l'elettro-magnetismo, la termoelettricità, l'elettrodinamica, l'induzione, nelle loro numerose applicazioni; ma costituisce eziandio il più bel trionfo del metodo sperimentale; dell' esperienza guidata dalla riflessione di uno spirito colto ed illuminato, consolidata dalla ricerca di una scrupolosa precisione, e sostenuta da un ardore di lavoro e da una pazienza instancabili ».

Esperimenti del Galvani.

Ripr. delle fig. 9 e 10 della Tav. II, dell'op. cit. del Galvani.

Legg. espl. — « . . . vidi le contrazioni prodursi quando si usava l'arco deferente *Fig.* 9, *Tav. II*, mancare affatto, ove si impiegasse l'arco in parte deferente, in parte coibente, come nella *Fig.* 10. L'arco deferente era in filo di ferro, con un uncino di filo di rame ». Galv. *Op. cit.*, pag. 18.

Come fosse costituita la pila e come la invenzione fosse dal Volta pubblicata in una lettera — scritta in francese — datata da *Come en Milanois*, il 20 marzo 1800 diretta a Sir Joseph Banks (2) da questi letta — il 26 giugno dello stesso anno — alla *Royal Society* di Londra, è troppo conosciuto perchè occorra ricordarlo. Ciò che è meno noto ed è saputo solo dal febbraio 1904, quando l'eminente segretario della Società Olandese delle Scienze faceva una importante comunicazione all'Istituto Lombardo, si è che gli elementi della pila — sia del tipo a *colonna* che dell'altro *a corona di tazze* — il Volta li aveva già inventati ed usati fino dal 1792; per cui, in realtà, a quell'epoca — e non al 1800 — si deve far risalire la invenzione dell'elettromotore voltiano (3). E non solo il Volta aveva aveva già fatto la grande invenzione, ma — parlando delle

(1) Rendiconti del R. Istituto Lombardo, a. 1904, sed. del 25 febbraio 1904.

(2) La lettera occupa le pagine dalla 403.ª alla 431.ª del volume delle *Philosophical Transactions* del 1800, parte II, ed è data sotto il titolo « *On the Electricity excited by mere Conctact of conducting Substances of different kinds. In a Letter from mr. Alexander Volta, F. R. S., Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to the Rt. Hon. Sir* Joseph Banks ».

(3) Li descrive il Volta stesso nella lettera 11 ottobre 1792 al Van Marum. Da essa, di cui l'originale è presso la *Soc. Oland. delle Sc.* ad Haarlem e della cui ultima parte il Bosscha pubblica anche il *fac simile* nel suo prezioso volume *La Correspondance*, ecc. già citato — V. pag. 405, nota 1 — traduciamo — pag. 100 e 101 del vol. cit. — letteralmente: « . . . immergo in una giara d'acqua una lamina di stagno, ed una d'argento separata dall'altra e che sporgono dal vaso; ed applicate alla lingua due spatole o cucchiai d'argento, uno sulla parte piatta, l'altro contro la sua estremità, faccio toccare la prima alla lamina di stagno, e la seconda alla lamina d'argento: finchè si effettua uno solo di cotesti contatti tra i metalli, nessuna sensazione; ma tosto che si compiono entrambi, il sapore acido si fa sentire alla punta della lingua, premuta da uno di cotesti cucchiai . . . L'impulsione al fluido elettrico che lo determina a circolare viene, nell'esperienza di cui si tratta, dalle altre lamine che toccano l'acqua, vale a dire esso scorre dalla lamina di stagno nell'acqua, passa alla lamina di argento che vi è pure immersa, da questa nel cucchiaio appoggiato alla punta della lingua, ecc.

Ho fatto sovente una esperienza uguale applicando la lamina di stagno e la lamina d' argento ad un panno o ad un cartone bagnati, ed il successo fu sempre lo stesso; soltanto la sensazione era più debole a misura che cotesti corpi si trovavano meno imbevuti di acqua, e nulla se non erano bagnati, ma soltanto umidi ». La descrizione dell'elemento elettromotore a *corona di tazze* e dell'altro *a colonna* non potrebbe essere nè più chiara nè più precisa; essa non lascia alcun dubbio.

analoghe disposizioni di esperienze, nelle quali il fluido elettrico passava da una lamina metallica « nelle parti animali ad altre conduttrici alle quali cotesta lamina si trova applicata, e, penetrando più o meno nell'interno » si avanzava verso la parte coperta da una lamina di altro metallo, nella quale entrava « per ritornare mediante l'arco conduttore alla prima lamina e continuare così il giro» — il Volta stesso ama richiamare « che la quantità del fluido elettrico che è messa in movimento per questo mezzo di armature differenti, non è piccola, come si potrebbe immaginare; che al contrario essa è molto considerevole se si giudica dall'effetto prodotto su la lingua, e dalla quantità dello stesso fluido che si è obbligati a far giungere al medesimo organo con la macchina elettrica per produrre uguale effetto (1) ». Così il Volta mostrava di conoscere fino dal 1792 quella qualità del suo elettromotore che doveva destare tanto stupore negli scienziati del mondo intero (2). Ma ciò che dimostra come al Volta, già da quell' epoca, non fosse sfuggito alcuno dei caratteri del suo generatore, si è quanto egli osserva subito dopo il passo citato. « La corrente del fluido » scrive egli « per abbondante che sia . . . spiega sì piccola forza e sì piccola tensione, che non dà segni all'elettrometro (3), e può essere arrestata facilmente da cattivi conduttori: in una parola è una correte ricca, ma dolce e tranquilla ».

Fac-sim. di autogr. del Volta. Disegni della pila a colonne e descrizione.
Ripr. della Tav. XIX del *Raccolta Voltiana*, già cit., pag. 405, nota. Per cort. concess. della ben. *Società Storica Comense.*
Legg. espl. — È un brano di minuta della celebre lettera 20 marzo 1800 a sir J. Banks, cit., a pag. 410 nel testo e nella nota 2, e nella quale il Volta pubblicava l'invenzione della pila.

Tutto cotesto scriveva il Volta fino dal 1792 !

Perchè non si decise egli se non dopo trascorsi tanti anni a passare allo elettromotore di più coppie? Nessuno, crediamo, potrebbe dirlo con sicurezza. Questo però è lecito supporre: assai probabilmente influì su ciò l'essere stato

(1) Bosscha, *Corrispondence*, ecc. pag. 97 e 98.

(2) Tra le esperienze con cui il mondo scientifico ebbe a constatare l'enorme quantità di elettricità messa in giuoco dalla *colonna* del Volta, ci piace ricordare quella di cui il Van Marum dava conto al grande italiano nella lettera 29 novembre 1801 — esistente presso il R. Istituto Lombardo — e che consistette nel caricare con essa una grande batteria Teyleriana di 137 $^1/_2$ piedi quadrati di superficie armata, « con un contatto del filo comunicatore il più breve possibile, un contatto che non avrà durato $^1/_{20}$ di secondo ». Bosscha, *Correspondance*, ecc., pag. 156.

(3) Non è a dimenticarsi che si tratttava di un solo elemento e che l'*elettrometro* al tempo del Volta era un istrumento ben lontano dalla squisitezza raggiunta in quei tipi che vennero ideati nel secolo XIX.

il Volta per lungo periodo quasi assorbito dalla celebre polemica con il Galvani, la quale sarebbe stata un male ove da quella lotta egli non avesse tratto « l'incentivo a nuove ricerche, che gli permisero di accumulare numerose prove in favore della sua teoria del contatto », a confermare il quale benefico effetto — che abbiamo voluto notare con le parole stesse del Righi — questo grande fisico italiano — pag. 24 del discorso più volte citato — scrive giustamente: « Ed invero. leggendo le lettere del Volta dirette al prof. Vassalli (1), e le tre scritte più tardi al prof. Gren di Halle (2), non troviamo in esse soltanto le risposte alle obbiezioni dei suoi avversarî, ma altresì l'esposizione delle numerosissime esperienze, che lo condussero a formulare le leggi della elettricità di contatto e all'invenzione della pila ».

Una cosa ancora dobbiamo notare prima di chiudere questo brevissimo cenno relativo all'opera del Volta, e si è che la teoria del contatto doveva suscitare ed incontrare ancora durante tutto il secolo XIX discussioni ed opposizioni. Riservandoci di riaccennarle a suo luogo, diremo però fino da ora che tutta la storia del grande dibattito valse a mettere in luce insuperabile la intuizione del Volta, sì che questi apparve quasi più grande ancora nella speculazione della teoria, di quel che fosse stato nella invenzione medesima dell'*organo elettrico artificiale* (3), e che un eminente fisico danese, il Christiansen, nel Congresso Internazionale di fisica tenuto a Parigi nel 1900, poteva dire a piena ragione: « Cento anni sono passati dalla scoperta del Volta, l'elettricità penetra in tutte le parti della nostra vita, e tuttavia nulla sappiamo che Volta non sapesse su la causa della elettricità di contatto ».

Su cotesta grande gloria del Volta ascoltiamo ancora per un momento il Righi: « Le eccelse qualità intellettuali di Alessandro Volta — scrive egli — non rifulgono altrove così, quanto in quelle sue ricerche su la elettricità di contatto. Immaginazione vivace, sempre a tempo frenata dalla fredda ragione; serenità d'animo di fronte a inaspettate difficoltà, che l'obbligassero a modificare le proprie idee; sagacità somma nel combinare esperienze, ed impareg-

Pila *a corona di tazze.*

Ripr. della fig. 1, Tav. XVII delle *Phil Trans.* a. 1800, p. II, accompagn. la monogr. orig. del Volta cit. a pag. 410 nel testo ed in nota 2.

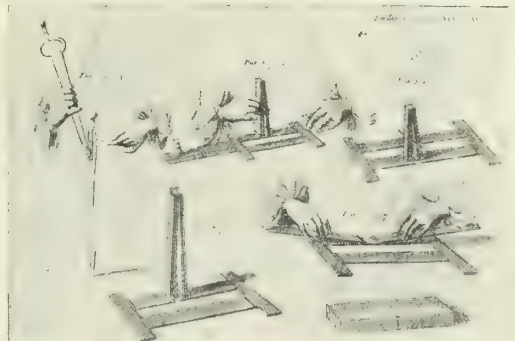
giabile abilità nel ben eseguirle; logica sana e potente nell'interpretare e nel collegare i fatti provati e nel trarne le conseguenze; ecco i caratteri salienti della sua mente superiore. Ci riempie di grande meraviglia il constatare come con mezzi, che facilmente ognuno di noi considererebbe quali insufficienti, egli giungesse, non soltanto a mettere in evidenza la produzione di

(1) Le prime fanno parte della *Collezione* più volte citata; le altre sono riportate a pag. 73 e 88 del volume *Onoranze a Volta*, pubblicato a Pavia nel 1878. *Nota di* Augusto Righi.

(2) *Sull'Elettricità eccitata dal contatto de' conduttori dissimili.* In *Collezione*, ecc. T. II, parte II, pag. 5 a 94.

(3) Così il Volta, nella lettera al Banks, denominava il suo generatore, « il quale essendo nel fondo lo stesso che l'organo naturale della torpedine, gli rassomiglia ancora per la forma ».

opposti stati elettrici in due corpi diversi messi in contatto, ma a stabilire, sulla base di accurate e pazienti misure, la legge che porta il suo nome ». Parole, coteste, rispondenti pienamente al vero, e che lo scolpiscono con la maggiore nettezza.

Intorno agli studi sul magnetismo e su l'elettricità anteriori al secolo XIX dobbiamo ancora ricordare, quanto ai primi, come, grazie al Knight, al Michell, all'Æpinus, rispettivamente con i metodi del *contatto separato*, del *doppio contatto*, del *contatto circolare*, si era cercato di perfezionare i processi di magnetizzazione del ferro, nessuno dei quali però poteva dare risultati paragonabili a quelli che si ottenero poi nel secolo XIX impiegando la corrente elettrica; come il Canton fosse riuscito a preparare dei magneti senza usarne altri, valendosi unicamente — senza per altro accennarvi affatto — di magnetismo indotto dalla Terra in un primo pezzo di acciaio tenuto in posizione opportuna, mentre lo sottoponeva ad azioni meccaniche; come il Franklin magnetizzasse dei piccoli aghi mediante le scariche dei conduttori: e quanto agli altri, dobbiamo segnare alcune cose — le più notevoli — relative alle scariche elettriche ed ai loro effetti, nonchè riassumere quanto era stato scoperto intorno alla elettricità propria dell'atmosfera.

I processi di magnetizzazione del Canton.
Ripr. della tav. che accomp. la mon. orig. del Canton: « *A Methot of making Artificial Magnets without the use of, and yet far superior to, any natural ones* », in *Phil. Tran.s*, Vol. XLVII, a. 1751 e 1752, pubbl. nel 1753, pag. 34 a 38.

Nel 1675 il Picard, secondo quanto riferisce il Du Fay nel *Mém. sur les Baromètres Lumineux* — in *Mém. de l'Ac. R. d. Sc.*, a. 1723, p. 295 a 306 — aveva osservato che, trasportando il barometro in luogo oscuro, appariva della luce nello spazio vuoto che è sopra il mercurio, e di più che, scotendolo fortemente, la luce era maggiore. Giovanni Bernouilli dava conto in una lettera al Varignon — *Mém. de l'Ac. R. d. Sc.* per il 1700 — delle luminosità fosforescenti del mercurio nel vuoto; nel 1705 e 1706 l'Hauksbee — *Phil. Trans.* del nov. e dic. 1705, p. 2166 e 2173; luglio, agosto, settembre 1706 pag. 2277 — riferiva alla *Società Reale* di Londra della produzione di luce provocata mediante lo strofinamento dell'ambra o di quello di vetro contro vetro nel vuoto, e della luce « intensa provocata mediante leggiera confricazione delle mani contro un globo di vetro vuotato della sua aria »; ed esperimenti analoghi — *Physices Elementa*, pag. 669 e seg. dell'ediz. di Leyda del 1748 — faceva lo S'Gravesande.

Delle scariche elettriche, il Volta aveva immaginato potesse trasmettersi l'azione a grande distanza, provocando, ad esempio, a Milano « lo sparo di una boccia di Leyden scaricata a Como », valendosi di « un solo filo di ferro . . . sostenuto da pali di legno qua e là piantati . . . da Como fino a Milano », nel che a ragione il ch. prof. A. Volta (1) — più che l'idea di « processi di comunicazione a distanza » o quindi, la « divinazione del telegrafo » — vede

(1) *Alessandro Volta e il suo tempo*, p. 38.

« la convinzione della possibilità della trasmissione dell'energia elettrica alle grandi distanze a mezzo di un solo filo ».

Il Cavendish notava — *Phil. Trans.*, a. 1783, p. 106 — che « la scoperta del dottor Priestley del metodo di determinare il grado di deflogisticazione dell'aria col mezzo dell'aria nitrosa aveva dato occasione a diversi istrumenti inventati per eseguire in modo più sicuro e comodo quell'esperimento ». Sono gli *eudiometri*, nei quali la scintilla elettrica, determinando opportune combinazioni, ha servito a far avanzare la chimica, e dei quali il Cavendish loda come « di molto il più accurato di tutti » quello dell'ab. Fontana, salvo trovare poi che il metodo del Fontana era cagione « di errori molto considerevoli ».

Notevole pure la scomposizione dell'acqua nei suoi elementi — l'idrogeno e l'ossigeno — ottenuta elettricamente mediante un apparecchio ideato dal Green e da lui descritto nel secondo volume — a. 1790 — del *Journal der Physik*, come si rileva dagli *Ann. di Ch.*, a., 1793, T. XVII, p. 221.

L'Ingen-Ousz, a modo suo, s'intende, trovava — *Ann. de Ch.*, T. VI, p. 276, a. 1789 — che l'elettricità non influiva in nulla sulla vegetazione; ed invece da un pezzo erano state fatte osservazioni — citiamo quella del Leeuwenhoeck, in *Phil. Trans.* del 1722, pag. 74 sul ferro proveniente da una croce che era stata circa due secoli sul campanile della *Chiesa Nuova* a Delft in Olanda — sul magnetismo che il ferro acquista stando a lungo in certe posizioni; e pure da un pezzo erano stati rilevati gli effetti magnetici dei colpi di fulmine su l'ago della bussola e sul ferro esposto nell'alto degli edifici. Notevole in cotesto ordine ciò che si trova nel T. XVII delle *Phil. Trans.*, a. 1690 a 1693 — e cioè — N.° 157 pag. 519 e 520 — che il « fulmine è magnetico e muta l'orientamento del *compasso di mare* »; fatto — cotesto ultimo — di cui rammenteremo pure l'altro caso — registrato nella medesima pubblicazione, a. 1676, N.° 127, p. 648 — di « uno strano effetto di tuono » su una « carta magnetica di mare » per il quale i marinai di un bastimento — diretto a Barbados, e colpito dalla bufera all'altezza delle Bermude — ignorando la inversione di polarità, sopravvenuta nell'ago della bussola, si erano messi a far rotta precisamente all'opposto di quel che dovevano.

Su l'elettricità atmosferica, poi, è a dirsi che, dopo la invenzione della bottiglia di Leyda e delle batterie elettriche, gli effetti delle loro scariche avevano dimostrato tanta analogia con quelli del fulmine, che si dovette pensare appunto cotesta analogia. Tuttavia il Franklin fu il primo che, riconosciuta la *facoltà delle punte*, — osservata primamente e comunicatagli da Tomaso Hopkinson (1) — concepisse la possibilità di impiegare cotesto mezzo per

(1) Si attribuisce comunemente al Franklin la osservazione del *potere delle punte*. Ciò non è conforme al vero, e lo sappiamo da lui stesso. Di quella proprietà delle punte « tanto di lanciare, quanto di attirare il fuoco elettrico » egli ragiona nella lettera datata da Filadelfia l'11 luglio 1747 e diretta al Collinson, e dice in nota che siffatta proprietà gli fu fatta conoscere dal suo « ingegnoso amico » Tommaso Hopkinson. — V. Franklin, *Oevres Complètes*, Parigi 1773 —.

Giacchè abbiamo dovuto accennare a quella lettera, coglieremo l'opportunità per dire come si è in essa che il Franklin espone la sua teoria su l'elettricità, ed introduce i nomi di *elettricità positiva* ed *elettricità negativa*. Nella stessa lettera poi descrive gli esperimenti della riaccensione della candela mediante la scintilla e del *ragno* artificiale.

E quella la prima delle importantissime lettere al Collinson, che questi comunicava alla *R. Soc.* di Londra, ed essa faceva inserire — pur troppo talvolta in sunto — nella *Phil. Trans.* Valendoci della pubblicazione *in*

rendere sensibili gli effetti dell'elettricità atmosferica (1) e preservarsi dalle sue esplosioni. Ma non avendo in America mezzi bastevoli a coteste esperienze, eccitò i fisici dell'Europa ad osservarli. Il primo che rispondesse all'appello (2) fu il Dalibard, fisico francese, che fece costruire a Marly-la-Ville una capanna, sulla quale era fissata una sbarra di ferro di quaranta piedi di lunghezza, isolata nella parte inferiore. Una nube temporalesca essendo venuta — il 10 maggio 1752 — a passare verso lo zenit di quella sbarra, essa diede delle scintille avvicinandole il dito, e presentò tutti gli altri effetti offerti dai conduttori eletrizzati, come risulta dalla comunicazione fatta dal Dalibard il 13 maggio successivo all'*Ac. R. d. Sc.* e dall'interessantissimo rapporto — che l'accompagna — dell' abate Raulet, priore di Marly. Il Biot c'informa pure che apparecchi consimili si moltiplicarono, ma lasciavano a desiderare dal punto di vista dell' isolamento della base, esposta — com'essa era — a venire bagnata dalla pioggia.

La *garrita del Franklin* per la esplorazione dell'elettricità atmosferica.
Ripr. dall'op. *Oevres Complètes*, citata nel testo, p. 414, nota 1.

Rimediava il Canton col porre un cappello metallico al piede dell'asta sicchè riparasse il sostegno isolante; e così egli poteva scoprire che « certe nubi sono cariche di elettricità vitrea, altre di resinosa, per cui l'elettricità dell'apparecchio mutava sovente cinque o sei volte in una mezz'ora. La pioggia e la neve pure lo eletrizzavano, e fenomeni elettrici si presentavano d'inverno come d'estate (3) ».

Intanto il Franklin aveva coltivato incessantemente le sue idee, ed imma-

extenso che si trova nelle *Oevres Compl.* citate sopra, ricorderemo della lettera 1 settembre 1747 lo studio su la bottiglia di Leida e le esperienze che dimostrano lo stato diverso delle sue armature; e dell'altra del 1 settembre 1748 l'analisi della bottiglia di Leida, ancora, nonchè della batteria, e come sia ivi che il Franklin parla del quadro magico del Kinnersley, del girarrosto elettrico, dello scampanìo elettrico a bottiglia di Leida e della carica in cascata. Cotesta lettera ha poi una chiusa molto notevole nella sua singolarità, e che merita di essere riportata per intero. « Essendo un po' mortificati » — scrive il Franklin — « di non avere potuto fin qui, con le nostre esperienze, produrre nulla di utile al genere umano, ed entrando ora nell'epoca dei grandi calori, durante i quali le esperienze elettriche non riescono tanto bene, abbiamo preso la risoluzione di chiuderle, per questa stagione, un po' allegramente con una partita di piacere su le rive dello Skuylkill » — fiume che bagna un lato di Filadelfia —. « Ci proponiamo di accendere dello spirito di vino dalle due parti contemporaneamente, inviando una scintilla dall'una riva all'altra attraverso al fiume senz'altro conduttore che l'acqua; esperienza che abbiamo eseguito da poco tempo con grande stupore di diversi spettatori. Uccideremo un tacchino per il pranzo con la scossa elettrica; esso sarà arrostito allo spiedo elettrico, davanti ad un fuoco acceso con la bottiglia elettrizzata, e berremo alla salute di tutti gli elettricisti d'Inghilterra, d'Olanda, di Francia e di Germania con delle tazze elettrizzate, al rumore dell'artiglieria elettrica ».

(1) In una lettera al Collinson — che nelle *Oevres Compl.* già citata è senza data — il Franklin faceva diverse ipotesi per ispiegare i vari fenomeni dei colpi di fulmine, delle aurore boreali, ecc. Quella lettera aveva un seguito — datato da Filadelfia il 29 luglio 1750 — nel quale il Franklin scriveva: « Così essendo, io mi domando se la conoscenza del potere delle punte non potrebbe essere di qualche vantaggio agli uomini per preservare le case, le chiese, i vascelli, ecc. dai colpi di fulmine, incoraggiandoci a fissare verticalmente, su le parti più elevate, delle verghe di ferro aguzzate alla punta come aghi, dorate per prevenire la ruggine, e ad attaccare al loro piede un filo metallico discendente fino alla terra, lungo il lato dell'edificio, o fino a fior d'acqua lungo uno degli alberi ed il fianco di un bastimento. Non è egli probabile che coteste verghe di ferro attirerebbero senza rumore il fuoco elettrico dalla nube prima che esso venisse abbastanza vicino per colpire; e che con siffatto mezzo saremmo preservati da tanti improvvisi e terribili disastri ? » E propone « per decidere se le nubi che contengono il fulmine sono elettrizzate, o no, » di costruire sul sommo di un'alta torre una garitta, con una punta alta 20 e 30 piedi uscente dalla garitta, e nella quale un uomo avrebbe potuto stare senza pericolo ad osservare.

(2) Biot, *Traité de Phys.*, T. II, p. 442 dell'ed. del 1816.

(3) Biot, *l. c.* Si fu per non essere obbligato ad andare continuamente a visitare l'apparecchio, ed essere al tempo stesso avvertito della presenza dell'elettricità, che il Canton ideò l'apparecchio a campanelli senza bottiglia di Leida, detto comunemente *scampanìo elettrico* e che pure oggigiorno si mostra e si fa agire nei corsi.

ginato — in mancanza di edifici di grande altezza — di far discendere l'elettricità mediante la funicella di un aquilone — sul quale *aquilone elettrico* e sull'uso di esso, a cotesto scopo, dirigeva poi da Filadelfia, con la data del 19 ottobre 1752, una importante lettera al Collinson. « Con le belle esperienze di Newton sui colori sviluppati dalle bolle di acqua saponata » — nota il Biot — « fu quella la seconda volta che dei giuochi da fanciullo divennero per la fisica gl'istrumenti delle più belle scoperte ». È noto come su le prime nessun indizio di elettricità potesse trarre il Franklin dalla corda; come invece, ne avesse dopo che una pioggerella l'aveva resa conduttrice; è noto pure in quali termini egli narrasse l'emozione provata. L'esperienza fu ripetuta in Europa da molti: nominiamo in particolare il padre Beccaria — a Torino — ed il Richmann di Pietroburgo, che il 6 agosto 1753 rimaneva fulminato dall'elettricità guidata all'elettrometro dall'asta piantata sul tetto della sua casa. Il Romas aggiunse un sottile filo di ferro alla funicella del cervo volante, e, perchè l'osservatore non fosse esposto a delle scariche imprevedute, faceva terminare il conduttore in un lungo cordone isolante, di seta, mentre le scintille — anzi che col dito — erano tratte mediante un conduttore metallico comunicante col suolo attraverso ad una catena, e tenuto a mano mediante un manico isolante. Egli ottenne così durante burrasche temporalesche « delle lamine di fuoco » — come scriveva egli stesso al Nollet — « della lunghezza di nove o dieci piedi, e della grossezza di un pollice ».

Nel settembre del 1752 sulla sua casa il Franklin — lettera da Filadelfia, datata settembre 1753, al Collinson — aveva elevato una verga di ferro per attirare « il fuoco del fulmine » allo scopo di fare alcune esperienze. Si potrebbe — in un certo senso — considerare quello come il primo parafulmine piantato in America, sebbene comunemente si assegni la data del 1760 a cotesta erezione — avvenuta su una casa di Filadelfia — del primo parafulmine: l'invenzione, cotesto è positivo, fu accolta con entusiasmo — e rapidamente si diffuse — in America: combattuta invece in Europa; nell'Inghilterra segnatamente, in odio al liberatore degli Stati Uniti. In Francia pure fu avversata da uomini di gran nome — il Nollet, ad esempio — mentre aveva incontrato favore nel Granducato di Toscana, uno tra i primi — degli stati europei — che profittassero del nuovo trovato. Però allo spirare del secolo XVIII. l'uso del parafulmine si era generalizzato in tutti i paesi civili.

Chiuderemo questi pochi cenni su l'elettricità atmosferica notando come essa avesse ispirato al padre G. B. Beccaria un concetto, e suggerito una dizione, che non troviamo nella scienza se non molto più tardi. Nella XIV delle quindici lettere al Beccari, che formano l'opera *Elettricismo atmosferico* — stampata in Bologna nel 1758 — il Beccaria parlando « degli accidenti ed effetti del fulmine » ed in particolare delle inversioni di polarità magnetica e delle magnetizzazioni operate dalle violente scariche atmosferiche — tra cui ricorderemo, per la importanza eccezionale e per la rarità del caso, quella di un pezzo di mattone operata da un fulmine che colpì la Torre degli Asinelli — scrive — al § 320, pag. 267 — testualmente così: « . . . inoltre, se è desso il fuoco elettrico, il quale, attraversando violentemente, calamita in istante, o *circolando blandamente, imprime nei corpi capaci alcuna ma-*

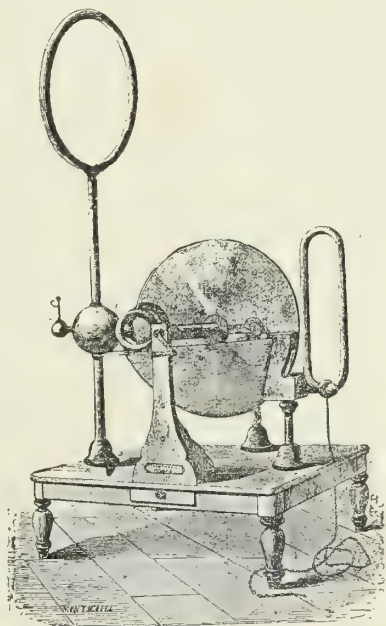
gnetica direzione; non sarebbe egli lo stesso che con alcuna determinata, universale, impercettibile, perpetua, periodica circolazione, cui facesse dalle settentrionali parti alle meridionali, universalmente ogni magnetica direzione producesse e conservasse ? . . . » Come si vede, pur fatta ragione della parte erronea della ipotesi, il Beccaria aveva intuito nettamente il concetto della magnetizzazione per mezzo della circolazione « blanda » dell'elettricità. Ma v'ha di più. È tutto moderno il concetto dell'energia elettro-magnetica. Ebbene nel Beccaria — lettera citata, § 324 — egli parla dell'elettricità atmosferica usando la locuzione: « questa sistematica *elettrico-magnetica* circolazione ». Il Beccaria anticipava di un secolo (1).

II.

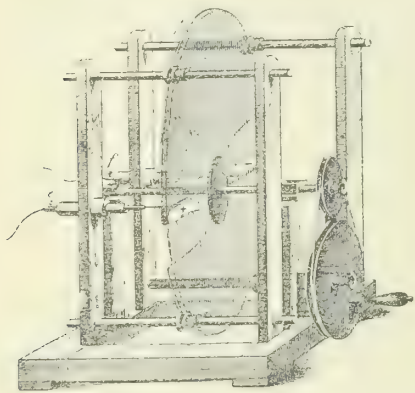
L'elettrostatica durante il secolo XIX.

Col Nairne, col Van Marum e col Ramsden la macchina elettrica era già stata portata ad un grado notevole di perfezione; non si sentiva al principio del secolo XIX molto bisogno di migliorarla, tanto più perchè il Volta aveva mostrato come in una maniera ben più semplice fosse possibile svolgere delle quantità grandissime di elettricità.

Di più, se qualche scienziato non perdeva di vista le vecchie macchine elettriche, — a motivo specialmente dei diversi caratteri sotto i quali la elettricità si presentava in esse rispetto alla pila — l'attenzione era pressochè universalmente assorbita da questa e dagli effetti sbalorditivi che se ne andavano traendo; rivelazioni di tutto un mondo completamente nuovo.

Ciò spiega molto bene perchè anche in un trattato dovuto ad uno scienziato eminente quale fu il Pouillet la macchina elettrica appaia ancora, nel 1847, quale l'avevano costruita appunto il Ramsden ed il Van Marum, e perchè occorra venire alla seconda metà del secolo per trovare qualche cosa di notevole in fatto di perfezionamenti alla vecchia macchina elettrostatica; non vale infatti la pena di tener conto di tentativi del genere di quelli consistenti nel sostituire la carta od il solfo rosso al vetro, nè di quelle modificazioni di forma, e disposizioni di parti, tra le quali il fatto più singolare fu la sostituzione del disco di vetro con una correggia di guttaperca avvolta

La macchina elettrica del Winter, con i perfezionamenti dell' Hempel.

(1) Ci piace ricordare che il Franklin fu grande estimatore dei lavori, ed assiduo lettore degli scritti, del fisico nostro, come risulta dalle espressioni molto lusinghiere ch'egli usava scrivendone al Beccaria stesso, al Dalibard, e ad altri. In quale conto lo tenesse, dirà chiaramente il seguente brano di lettera — 19 novembre 1779 — in cui il Franklin, felicitandosi col Beccaria perchè era uscito bene da grave malattia, scriveva: « Io prego Dio che la vostra convalescenza sia pronta e perfetta, e la vostra sanità si ristabilisca solidamente, La scienza perderebbe troppo perdendo chi è tanto zelante, ed attivo per gli interessi di lei, e tanto capace di accelerarne i progressi ed ampliarne i confini ». — V. *Memorie Istoriche intorno agli studi del P. G. B. Beccaria delle Scuole Pie,* Torino, 1783. Il brano riportato è a pag. 151, e la versione è del conte Prospero Balbo.

su due puleggie, come si vedeva alla celebre esposizione di Londra del 1851. Che se, intorno al 1840, le scintille osservate e le scosse provate da un meccanico inglese intento a riparare delle fughe di vapore prodottesi in una caldaia, (1) avevano portato alla costruzione della curiosa macchina idroelettrica dell'Armstrong, di Newcastle sulla Twine, essa, malgrado le lunghe scintille di cui era capace — 60 centimetri nel modello a 46 getti di vapore dell'Istituto Politecnico di Londra — non si diffuse affatto, ed il tipo generalmente impiegato, sino alla comparsa delle macchine ad induzione dell'Holtz ed a quelle che ne derivarono, rimase sempre il vecchio, a strofinamento di vetro.

La macchina dell'Holtz nella sua forma originaria.

Ripr. della Fig. I, Tav. I, T. CXXVI degli Annali del Poggendorff., Mem. « *Ueb. eine neue Elektrisirmaschine* » dell'Holtz acc. qui sotto nel testo.

Questo veniva perfezionato appunto verso il 1850 dallo Steiner, che disponeva i cuscinetti di strofinamento in modo che agissero per pressione di molla, e li rendeva assai più efficaci — di quelli di cuoio imbottito di crine e coperto di oro musivo — col foggiarli di strati alternati di flanella e stagno, e ricoprirli di seta spalmata con amalgama di stagno, zinco e bismuto.

Poco dopo, grazie al Winter e all'Hempel, venivano portati alla macchina quei perfezionamenti nella forma e disposizione dei pettini e del conduttore positivo — foggiato a sfera dal Winter ed accresciuto, dall'Hempel, del grande anello — nell'aggiunta della guaina di taffetas, nonchè in altri particolari, per cui la macchina a strofino acquistava il tipo che essa serba tuttora.

Una rivoluzione portavano — 1865 — l'Holtz di Berlino — *Pogg. Ann.*, a. 1865, T. CXXVI, pag. 157 — e — stessi Annali, medesimo anno, T. CXXV, p. 469 — il Toepler (2) professore al politecnico di Riga, con le loro macchine, nelle quali, come già nell'elettroforo del Volta, come nel *duplicatore* del Benett e nei perfezionamenti fattine dal Darwin e dal Nicholson e per ultimo, nel 1796, dal Read (3), come nell'altro *duplicatore* che il Belli inventava nel 1837 — ed in cui il Murani, *Rendic. del R. Ist. Lomb. di Sc. e Lett.*, ritrovava a ragione il *replenisher* dato molto più tardi alla fisica da lord Kelvin — si aveva la conversione diretta del lavoro meccanico in elettricità, senza ricorrere all'azione dello strofinamento se non in quanto occorreva per eccitare la macchina.

(1) Era una macchina della potenza di 28 cavalli, stabilita a Seghill, a circa sei miglia al nord-est di Newcastle, e serviva una miniera — Cramlington — di carbone. Sul fatto sopraccennato, su le osservazioni, cui diede luogo, e su la macchina dell'Armostrong, vedansi le lettere scritte al Faraday, una dal meccanico Pattinson, le altre dall'Armstrong, e pubblicate con risultati di esperienze e la descrizione della grande macchina dell'Istituzione Politecnica di Londra nel *Phil. Mag.*, serie III, vol. XVII, p. 370 e 452, vol. XVIII p. 50, vol. XXII p. 1 e vol. XXIII p. 194: si trovano riassunte in *Pogg. Ann.* T. LII, pag. 328 e 340 e T. LX, p. 348 a 356, nonchè in *Ann. de Ch. et de Phys.* a 1840, T. LXXV, p. 328; a. 1843, T. VII, p. 401; ed a. 1844, T. X, p. 105.

(2) Una nota del Poggendorff all'Accademia di Berlino, relativa alla macchina dell'Holtz — con l'epoca in cui fu fatta codesta comunicazione — viene a stabilire indubbiamente che la priorità spetta all'Holtz, sebbene la pubblicazione relativa alla macchina di lui sia venuta un paio di mesi dopo quella riguardante la Toepler.

(3) *Bibliothèque Britannique* di Ginevra, a 1796, T. III, p. 273.

A coteste macchine veramente importanti seguivano subito — 1865 ancora — quella del Piche, un giovane dilettante; quella — 1866 — del Bertsch, e l'altra — 1868 — del Carré, combinazione della macchina a strofinio con quella elettroforica o ad induzione; più tardi si avevano quelle del Cecchi, del Wimshurst, del Bonetti a cilindri di ebanite, e molte altre, da cui trassero partito — con gli sperimentatori bisognosi di elettricità sotto tensioni elevatissime ed in quantità grande relativamente a quella che potevano fornire le macchine elettrostatiche di vecchio tipo — i medici in parecchie delle multiformi applicazioni della elettroterapia, per le quali, poi, si andò aumentando il numero dei dischi, fino alla costruzione delle macchine anche a dodici grandi dischi — che vengono mantenute in azione mediante motori elettrici, e le cui splendenti scintille, lunghissime, ben nutrite, a zig-zag con mille ramificazioni, ricordano veramente la identità della natura loro con quella del fulmine —.

La importanza di queste innovazioni non è però paragonabile a quella degli studi sui coibenti — la cui polarizzazione già era stata pensata dell'Avogadro — fatti dal Faraday. Non crediamo di errare col dire che di tutti i lavori di elettrostatica del secolo XIX nessuno è di tanto momento quanto quelli sull'induzione — *Phil. Trans.* del 1837 — costituenti la undicesima serie delle *Experimental Researches in Electricity.* In essi — letti alla *R. Soc.* il 21 dicembre del 1837 — il sommo maestro della *R. Institution* portava un colpo alla acquiescenza dei fisici nelle azioni a distanza, e stabiliva che « la induzione delle cariche elettriche » attraverso all'aria o ad altri mezzi coibenti « è un'azione delle particelle contigue del mezzo isolante », e chiamava questo « dielettrico »; parola, cotesta, che esprimeva molto felicemente il nuovo concetto, secondo il quale il vetro, lo zolfo, il terebenteno e gli altri corpi detti comunemente isolanti, sono invece i veri trasmettitori dell'energia elettrica. Era una rivoluzione quella che il Faraday portava nel modo di considerare le cose; una rivoluzione talmente grande, e contro errori talmente radicati, che — mentre da essa dovevano scaturire le alte concezioni del Maxwell su la identità di natura della luce e della elettricità — ancora oggi riesce ignorato da molti — e, per molti, difficile a concepirsi — che i corpi che noi chiamiamo conduttori sono invece inetti a lasciarsi attraversare dall'energia, la quale si trasmette, per contro, precisamente attraverso agli altri reputati isolanti.

Macchina elettrostatica Bonetti a cilindri di ebanite.

Dal concetto che la elettricità si trasmette attraverso al dielettrico, era naturale per il Faraday il passare a quello di un'attitudine specifica dei singoli corpi alla trasmissione di codeste azioni induttive, ed egli stabiliva appunto siffatta facoltà, dandole nome di *capacità induttiva specifica*: il Faraday preparava, tra altro, senza sospettarlo, alla telegrafia sottomarina uno degli elementi, senza dei quali essa non avrebbe potuto procedere

con sicurezza nella costruzione e nella posa dei cavi, come nella ricerca dei loro guasti. Così quegli studi su l'induzione — cominciati perchè « la scienza dell'elettricità » era « in quello stato nel quale ogni parte di essa » richiedeva « la investigazione sperimentale, non solamente per la scoperta di nuovi effetti, ma anche, ciò che era per il momento di importanza molto maggiore, per lo sviluppo dei mezzi di produzione dei vecchi effetti, e per la conseguente determinazione più accurata dei primi principi dell'azione della potenza più straordinaria ed universale della natura » — finivano con la visione delle cause dove le menti, anche dei più eminenti scienziati, non avevano nemmeno pensato ad avanzarsi oltre l'apparenza della superficie, ed insieme con lo stabilimento di concetti ed elementi importantissimi per le applicazioni.

Notiamo subito tra queste i miglioramenti portati nei condensatori. Quando i fenomeni dei cavi sottomarini domandarono grandi condensatori la cui capacità per la carica elettrica fosse paragonabile a quella dei cavi, e che fossero divisibili in sezioni così che potessero venire studiati in essi la modalità della trasmissione delle ondate elettriche appunto nei cavi, si trovò la neccessità di costruire condensatori di grande capacità, al che non si prestava la forma nè del condensatore di Epino, nè del quadro frankliniano, nè della bottiglia di Leida. E, mentre per gli usi comuni si idearono quelli *a tazza*, analoghi appunto alla boccia di Leida, ma preferibili per facilità di ottima preparazione e semplicità di riparazione, si fecero quelli di uso per la elettrotecnica — anche per realizzazione dei *cavi artificiali*, sui quali si possono studiare comodamente nel laboratorio i fenomeni dei grandi cavi sottomarini — con lamine rettangolari di mica o di carta paraffinata, su le cui due facce si pongono lamine di stagnola, o veli sottilissimi di argento, e che, impilate ed opportunamente collegate, danno appunto sotto spazio relativamente piccolo delle capacità enormi, in ragione della estensione delle superficie della stagnola o dell'argento.

Grande macchina elettrostatica a dodici dischi.
Costr. dello Stabilimento Balzarini in Milano.

La costruzione di grandi condensatori divenne poi ancora più importante nell'ultimo decennio del secolo, ravvisandosi in essi — come pensarono primi il Doubrava e lo Swinburne — un mezzo per togliere — nella trasmissione elettrica dell'energia per mezzo delle correnti alternate — una causa di perdita di potenza e di turbamento nella regolarità del funzionamento.

Bisognava perciò trovare il condensatore economico, ed il cui dielettrico non fosse perforato dalle scariche a tensioni alte, quali usa l'elettrotecnica nelle moderne trasmissioni dell'energia a grandi distanze. Onde, abbandonato il pensiero di usare in cotesta branca d'industria — perchè troppo

costosi— quelli pur ottimi, secondo i risultati degli studî del Bouty, di mica argentata su le due faccie, o quelli di Hutin e Leblanc a dielettrico formato da fogli di mica — più di uno, per elemento, allo scopo di ovviare all'inconveniente dei forellini microscopici che ciascun foglio presenta — o gli altri, pure a mica, della Casa Siemens e Halske, si ebbero quelli economici dello Swinburne a carta imbevuta d' olio preventivamente riscaldato; dell'americana *Stanley Electric Co.* a carta imbevuta di cera; di Berthoud e Bord pure a carta, imbevuta però di una miscela di olio di lino e colofonia; e gli altri di Luigi Lombardi, l'eminente insegnante di elettrotecnica della Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Napoli — meritamente premiati con la maggiore onorificenza alla Esposizione di Parigi del 1900 — a dielettrico formato da miscele di varie parafine, mirabili per la loro resistenza a potenziali elevati e per la ingegnosità con cui vennero superate le gravissime difficoltà della costruzione, però ancora troppo costosi perchè potessero diffondersi industrialmente.

Un condensatore moderno.

Modello della Casa Elliott di Londra.

Legg. espl. — Il condens. è form. da un certo num. di blocchi, risult. ognuno da una moltitud. di foglie metall. esiliss. sep. da un dielettr. Le foglie di ord. pari — pur rimanendo isol. dalle altre — sono colleg. metallic. tra loro: altrettanto si dica di quelle di ord. disp.. Le prime cost. una delle armature; l'altre l'altra. Ogni blocco — che equiv ad un condens. av. sup. ug. alla somma di quelle della lam. — è avvilupp. da stearina o da altro dielettr., ed i blocchi sono chiusi entro una scatola di legno. Sul coperchio stanno dei prismi metall. con ogn. dei quali comun. metallicamente una delle arm. Opportune caviglie serv. a mettere in com. lo arm. di un blocco con quelle di un altro, così da form. condensatori di capacità svariate.

Il problema del condensatore di grande capacità ed atto alle forti tensioni era pertanto risolto alla fine del secolo XIX: non lo era però quello del condensatore che a quei requisiti accoppiasse quello della tenuità del costo.

Sugli effetti delle scariche delle grandi macchine e dei grandi condensatori moderni sarà ad accennarsi fino da ora, oltre che alla loro imponenza — facilmente supponibile del resto — al fatto importante scoperto dall'Helmholtz,e studiato matematicamente dal Kelvin, che, quando la resistenza elettrica del conduttore, secondo il quale avviene la scarica di un condensatore, è al disotto di un certo limite, la scarica stessa è oscillatoria, ossia è la successione di un numero che può essere enorme di correnti, le quali cambiano alternativamente di senso, e, conservando una durata costante — misurata in modo interessantissimo dal Feddersen, col metodo dello specchio girevole.— (1) vanno decrescendo di ampiezza fino ad annullarsi, precisamente come avverrebbe del moto di una molla fatta scattare e poi abbandonata a se stessa, o delle vibrazioni di un diapason.

(1) Le prime ricerche del Feddersen rimontano al 1857, ed i risultati ne furono esposti in una tesi di laurea stampata a Kiel dallo Schwers. Essi sono riportati nel Tomo CIII — a. 1858, p. 69 a 88 — degli annali del Poggendorff. Il Feddersen aveva applicato puramente e semplicemente il metodo del Wheatstone usando dello specchio piano, e già i disegni che accompagnano la monografia presentano molto interesse. Ma nelle successive egli usò dello specchio concavo in modo che i raggi della scintilla fossero concentrati su una lastra fotografica. L'apparecchio, costrutto da Leyser di Lipsia, ove dimorava il Feddersen, non era costato che 262 franchi. Eppure veda il lettore quali frazione di secondo esso — in cui lo specchio faceva circa 100 giri al secondo — permetteva di raggiungere: usandosi, nella scarica, di un filo di rame del diametro di mm. 1,35 e della lunghezza di m. 5,16, fu trovato che una delle quasi innumerevoli correnti elementari costituenti, in quelle condizioni, la scarica di una batteria di dieci bottiglie di Leida aventi 2 decimetri quadrati di armatura in-----, aveva la durata di 132 *centomilionesimi* di minuto secondo.

Abbiamo citato le misure del Feddersen. Nello stesso campo delle misure non possiamo dimenticare come per il Behrens — 1812 — il Bohnenberger — 1821 — l'Hankel — 1858 — il Righi — 1875 — si sia andato perfezionando l'elettroscopio, così da divenire esso un vero istrumento atto a misure; come il Kelvin ideasse e costruisse — in tipi numerosi e svariati — *elettrometri assoluti a bilancia* — secondo aveva immaginato di fare il Volta — ed *elettrometri a quadranti* — notevole assai anche quello del Mascart —, ed altri istrumenti del genere — tra i quali tutta la famiglia assai diffusa dei *voltometri elettrostatici*, cresciuta dai tipi ideati da molti altri costruttori, usati nello studio anche scientifico, e, più, nella misura industriale delle correnti elettriche alternate, specialmente quando esse sono a forti tensioni —.

Per vero in codesto campo degli strumenti di misure meriterebbero menzione i *termometri elettrici* dell'Harris e del Riess, in cui — come già in quello che il Kinnersley descriveva al Franklin fino dal 1761 — il calore svolto dalla scarica elettrica, riscaldando dell'aria, sposta una colonna liquida, e che il Mascart — *Journ. de Phys.* a 1873, p. 313 a 318. — rendeva registratore; l'*elettrometro assoluto cilindrico* di Bichat e Blondlot, quello *sferico* del Lippmann, gli elettrometri dell' Örsted — modificazione utile ed ingegnosa della bilancia del Coulomb — del Peltier — usato assai nelle osservazioni della elettricità atmosferica — del Dellmann, del Kohlrausch, del Riess, dell'Hankel, del Branly, dell'Angot, istrumenti tutti nei quali generalmente le azioni delle cariche elettriche sono impiegate ad equilibrare forze sviluppate da torsione di uno o più fili, così da potersi precisare e le grandezze delle cariche e le intensità delle azioni.

Fig. 1.

Le esperienze del Feddersen su la scintilla elettrica data dalla scarica della bottiglia di Leida.

Ripred della fig. 1. Tav. VII, T. CXIII, a. 1861 degli Ann. del Poggendorff, monog. orig. del Feddersen « *Ueb. die elektr. Flaschenentladung* » — pagina 437 a 467 — : e delle fig. da 1 a 20 della Tav. VII, T. LXIX, a. 1863 degli *Ann. de Chim. et de Phys.* monog. del Fedd. « *Sur la déch. des bouteilles de Leyde* » pag. 178 a 206.

Legg. e fl. - Fig. 1: a destra bott. di Leida, nel mezzo sferine tra cui scatt. la scint, e — sotto ad esse — scat. conten. la lastra fotogr.: a sin. specchio girev. — Fig. 2. Scintille elem. componenti la scintilla della bott. di Leida, secondo la resist. del circuito di scarica.

Ma la impossibilità di scendere a codesti particolari, per quanto importanti, ci obbligava a limitarci ad una enumerazione che dicesse, almeno, al lettore la molteplicità delle vie per le quali nel secolo XIX si andò sviluppando lo studio dell'elettrostatica.

Il quale, grazie alla applicazione appunto ai fenomeni elettrici della teoria della funzione potenziale stabilita dal Laplace nella sua grande creazione della *Meccanica celeste* — applicazione che, per i lavori del Poisson che la ideava nel 1811, del Green che se ne valeva, 1828, nelle sue « *Applicazioni dell'analisi matematica alle teorie dell'elettricità e del magnetismo* », del Gauss che, 1839, ne usava, introducendo cotesto nome di *potenziale*, senz'altro, nei suoi « *Teoremi generali relativi alle forze attrattive e ripulsive agenti nella ragione inversa dei quadrati*

delle distanze», costituisce un grande titolo di gloria della scienza francese, della scienza inglese e della scienza tedesca; — grazie alla concezione delle *linee di forza*, del Faraday; grazie alle speculazioni matematiche del Plana, del Weber, dei due Neumann, del Lorenz, del Riemann, del Clausius, del Kelvin, del Maxwell, del Roche, del Bertrand, del Mascart; grazie alla molteplicità degli studi sperimentali nei quali brillano i nomi del Marianini e del Matteucci, del Belli e del Felici, del Govi e del Righi, del Boltzmann, del Riess, del Wüllner, dell'Hertz, dell'Arons, del Duter, del Gordon, del Kelvin, dell'Ayrton, del Perry, del Curie, del Gaugain, del Bouty, venne nel secolo XIX a costituire tutta una scienza a sè scienza che, se parve per un momento messa in seconda linea allorchè, verso il 1880, le grandi applicazioni industriali dell' elettricità riempirono di sè il mondo, riacquistò ben presto il suo posto altissimo, tosto che appunto le grandi applicazioni industriali ebbero mostrato la parte che in esse hanno i fenomeni delle cariche statiche.

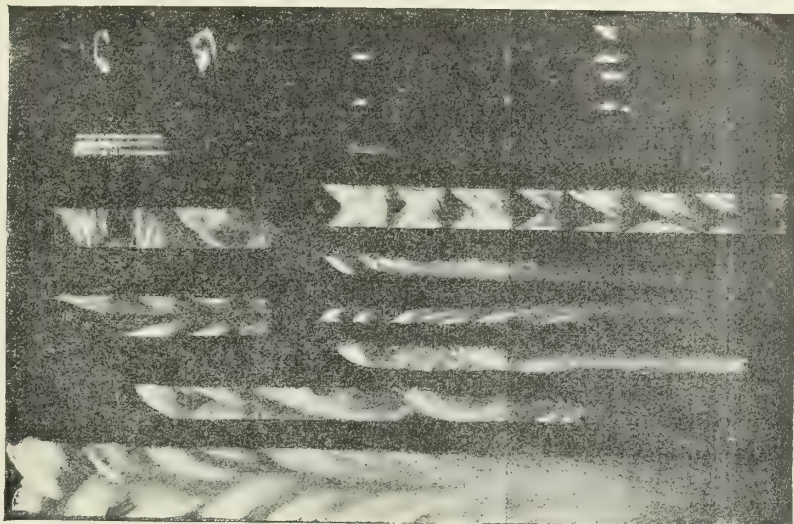



Fig. 2.
Le scintille nello specchio girevole del Feddersen (v. legg. espl. a pag. prec.).

III.

La pila. Gli accumulatori. I generatori termoelettrici.

La pila del Volta aveva destato un entusiasmo, di cui forse la storia della scienza non registra altro esempio simile, se non è quello offerto dalla invenzione del Marconi (1).

Ciò avveniva malgrado essa avesse dei difetti — la corrente, tra altro, s'indeboliva presto — sì che il Volta stesso aveva avuto l'idea di modificarla — idea che anche il Davy tentò invano di attuare (2) — creando la pila a due liquidi, la quale doveva assai più tardi realizzare l'ideale della corrente costante.

In parte per l' entusiasmo, più ancora per la importanza immensa del generatore voltiano, la creazione di un nuovo tipo di pila ha tentato durante

(1) Potrebbe dare un'idea di quell'entusiasmo quanto fecero segnatamente l'*Académie des Scences,* il Bonaparte, la *Royal Society*. Su la parte presa dalla Francia, il Mascart leggeva — con gentile pensiero — una interessantisima comunicazione al I.° Congresso Nazionale di Elettricità , tenutosi in Como nel settembre 1899 per commemorare il centenario della invenzione del Volta. La comunicazione è riportata nel fascicolo del dicembre 1899 degli *Atti della Ass. Elettrotecnica It.*, *Sede Centrale,* Milano, 1900.

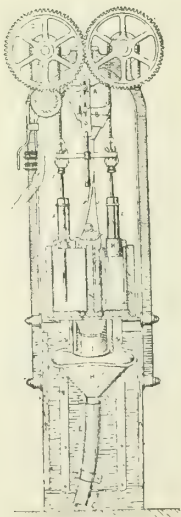
(2) Du Moncel. *Exposé des applications de l'Électricité,* Parigi, 1872, T. I, p. 131.

tutto il secolo una moltitudine di scienziati e di inventori, sì che le pile si possono contare a centinaia.

Limitandoci alle più notevoli, ricordiamo anzitutto quella del Cruickshank, a zinco e rame, nella quale una cassetta a scompartimenti sostituisce la molteplicità dei recipienti della pila a corona di tazze, e quella del Wollaston — l'eminente scienziato nel quale gli importanti studi di ottica a cui attendeva al principio del secolo XIX non ispegnevano l'interesse per i fenomeni chimici offerti dalla corrente voltiana — notevole per la estensione della superficie delle coppie e per i particolari di montatura che ne rendevano molto comodo l'uso: requisito, cotesto. di cui si apprezzerà tosto l'importanza quando si pensi che — nei primi anni del secolo — Gay Lussac e Thenard avevano fatto costruire per l'*École Polytechnique* di Parigi una pila di 600 elementi, ciascuno della superficie di 9 decimetri quadrati, e che all'incirca alla stessa epoca — non dopo il 1806 — la *Royal Society* di Londra possedeva una pila di 2000 coppie, ciascuna della superficie di 5 a 6 decimetri quadrati.

Nel 1826 il Becquerel, che intrapprendeva i suoi studi immortali di elettrochimica, avendo riconosciuto che la causa principale dell'indebolirsi della corrente nella pila stava nel deposito di bollicine gasose su le laminette metalliche — *polarizzazione degli elettrodi* — costruiva una pila ad elementi formati da due liquidi divisi l'uno dall' altro, ma capaci di reagire chimicamente l'uno su l'altro attraverso ad un diaframma permeabile — costituiti, quegli elementi, da due lamine di platino pescanti l' una in acido nitrico, l'altra in una soluzione di potassa separata dall'acido mediante un tramezzo poroso —; e tre anni più tardi ne costruiva un'altra simile con solfato o nitrato di rame ed una soluzione salina neutra; pila dalla quale egli aveva uno svolgimento sì costante di elettricità, che di essa si valeva sempre dippoi.

Fig. 1. Fig. 2.
La pila Jarriant per l'illuminaz. elettr. del *Comptoir d'Escompte* di Parigi.

Legg eespl. — Era ad elementi al bicromato di sodio, e composta di 60 batterie da 48 elementi ciascuna collegati in tens. Ciaseuna batteria alimentava una lamp. ad arco od un gruppo di 8 a 10 lamp. ad incand.
Fig. 1 : Elem. della pila. Fig. 2 : meccanismo per la manovra degli zinchi e il rinnovamento del liquido.

Ad essa riusciva simile, in certo senso, la Daniell, a solfato di rame ed acqua, od acqua salata, od acqua contenente solfato di zinco, e con due lamine una di rame e l'altra di zinco pescanti la prima nel solfato di rame, l'altra nell'altro liquido, che, perchè sia separato dal primo, sta entro un vaso poroso. Codesta pila — 1836 — nelle numerose modificazioni — Cromwell Varley, Callaud, Meidinger, Siemens e Halske, Minotto, italiana, Secchi — più che sotto la forma datale dall'inventore, ebbe larga applicazione nelle operazioni di elettrochimica e nella telegrafia, ed è tuttora, relativamente, abbastanza largamente usata. E ad una modificazione

di essa ricorreva — per vero dire, senza esito molto felice — il Reynier — 1882 — dopo l'insuccesso delle pile Jarriant nel celebre ed ardito — troppo ardito! — tentativo dell'illuminazione con pile al *Comptoir d'Escompte* di Parigi.

Importanti assai, tecnicamente e storicamente, le pile del Grove — 1839 — e del Bunsen — 1843 —: la prima ad acido nitrico e ad acido solforico diluito, con lamine di platino e di zinco, e con vaso di terra semicotta — invece che con diaframmi di argilla o di membrane animali, quali venivano impiegati come tramezzo —; la seconda simile alla prima, però con un prisma di carbone di storta, preparato in maniera speciale, in luogo del platino (1). È notorio quale applicazione estesa avesse la pila del Bunsen, a motivo del piccolo costo, della bassa resistenza interna e della forza elettromotrice elevata — pregi che compensano in gran parte il difetto dell'indebolirsi, in poche ore, dalla corrente —.

Fig. 1. Fig. 2.
L'elemento della *pila campione* Latimer Clark.

Legg. espl. — Fig. 1. Forma ad H: *M* mercurio; MS pasta form. da cristalli di solfato di zinco e merc. puro in parti uguali, con solfato mercuroso in peso ug. alla somma dei primi; *Z* crist. di solf. di zinco e soluz. dello stesso sale; A amalg. di zinco. — Fig. 2. Forma ad ⅄.

Costante invece, per circa trentasei ore, e più energica della Grove e della Bunsen, la Sosnowski — 1885 — analoga alla Bunsen nella composizione apparente, molto diversa chimicamente — essendovi sostituita una soluzione di potassa o soda caustica all'acqua acidulata con acido solforico, ed una miscela, a volumi uguali, di acido nitrico, acido solforico, acido cloridrico ed acqua, all'acido nitrico —.

Però malgrado i pregi di esse, la semplicità di quella ad un liquido la mantenne costantemente oggetto di studio e di tentativi di miglioramento.

Lo Smée — 1840 — ideava perciò la coppia a zinco ed a rame, o platino, od argento platinato; il Poggendorff ricorreva all'acido cromico diluito come liquido eccitatore, riuscendo a che opportune reazioni chimiche assorbissero l'idrogeno; il Chutaux, il Grenet, il Trouvé, modificavano felicemente la pila del Poggendorff, ed il Camacho — 1875 — ed il Jarriant — 1882 — tentavano perfino l'applicazione di coteste pile al bicromato potassico o sodico alla illuminazione elettrica, studiando meccanismi — a vero dire tutt'altro che semplici — per il rinnovamento del liquido; il Leclanché — 1868 — componeva quella pila — a soluzione di sale ammoniaco, cilindretto di zinco, e vaso poroso contenente un prisma di carbone circondato da un miscuglio compatto di biossido di manganese e di carbone coke grossola-

(1) Il Bunsen certo ignorava i lavori del Grove, quindi può essergli attribuito tutto il merito di avere reso molto meno costosa — sostituendo il carbone al platino — una pila tanto pregevole qual'era quella del Grove: di più mise a profitto della ricerca del processo per la preparazione del carbone quelle attitudini che dovevano farne uno tra i più grandi chimici del secolo. Questo notiamo, perchè il Grove, preoccupato dal costo della sua pila a motivo del platino che essa richiedeva, aveva tentato egli stesso la sostituzione del carbone di legno o di storta al prezioso metallo; sostituzione che tuttavia egli non menzionò mai nelle sue memorie, forse perchè — come osserva il Du Moncel — pensava che nel mondo scientifico non sarebbero mai stati apprezzati, come in armonia con la scienza, se non gli elettrodi in platino. Certo è che sei mesi dopo l'invenzione del Grove, presso un ottico di Charring Cross, a Londra, si vendevano pile a acido con carbone di storta invece che del platino, e che verso la stessa epoca le *Philoropical Transactions* pubblicavano una memoria del Cooper su l'importanza delle pile al carbone.

namente triturati — che migliorata, anche, in seguito — 1876 — è divenuta, per l'applicazione alle sonerie elettriche, uno degli oggetti indispensabili delle nostre abitazioni.

Nè mancarono *pile secche*. Hachette e Desormes sostituendo della colla d'amido al pannolano della pila del Volta, il Deluc con la sua colonna di dischi alternati di zinco e di carta dorata, soprattutto — subito dopo, 1812 — il Zamboni con la pila (1) — ancora oggi in uso per alcuni apparecchi di fisica — a rotelle di carta ricoperta da una parte con stagnola, dall'altra con manganese spappolato in una miscela di farina e di latte, mettevano le basi di una famiglia di generarori elettrici che dopo avere fornito opportunità a vere mistificazioni — ricordiamo quella della pila Lacassagne e Thiers, una povera cosa a cui nel 1855 i giornali di Lione facevano una reclame degna di una grande invenzione — verso la fine del secolo dovevano con la Gassner e tipi affini entrare nell'uso comune per la telefonia ed altre applicazioni importanti.

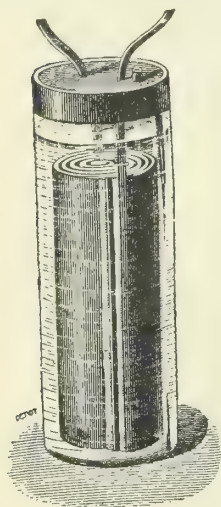
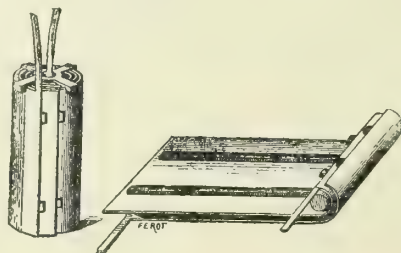



Fig. 1. Fig. 2.

L'accumulatore Planté.

Legg. espl. — Fig. 1. L'elemento montato. — Fig. 2. Le due lam. di piombo durante e dopo l'operaz. dell'arrotolamento. Le lam. erano così disp. che, grazie a due liste di caucciù, od altro, non potev. ven. a contatto.

Su le pile in generale sarà poi a notarsi come verso il 1880 si avesse una rifioritura di invenzioni incoraggiate dalle applicazioni importanti che l'elettricità andava trovando; invenzioni che non lasciavano traccia, perchè la dinamo, già precisamente nel decennio 1880-1890, andava acquistando quei pregi per cui poteva soddisfare alle svariate esigenze delle industrie elettriche. La pila andò anzi successivamente perdendo terreno, e dovette disertare persino una parte degli stessi uffici telegrafici e telefonici: una sola categoria ha conservato veramente tutta la sua importanza ed è quella delle pile *campione* — Latimer-Clark e Weston — (2).

(1) La pila dello Zamboni ebbe, sino dall'origine, un grande successo. Dalla *Bibl. Univ.* del gennaio 1816 si apprende che il Butzengeiger di Tubinga l'aveva applicata a produrre il movimento di un orologio; che con essa avevano fatto esperimenti il Jäger, medico del Re del Würtemberg, il Bohnenberger, insegnante a Tubinga, lo Schulbler, fisico all'Istituto di Hoffwyl (?): e in una « *Lettera all'Acc. R. delle Scienze di Monaco* » dello Zamboni medesimo — Verona, Ramanzini, 1816 — si richiama come « il cav. Assalini, primo chirurgo di S. A. R. il principe Eugenio, sino dal giorno 14 di giugno del 1814 » avesse fatto vedere alla stessa Accademia quella pila, come essa ne avesse commesso subito la costruzione « al valente suo Artefice, il sig. Ramis », e come questi, ai 20 di marzo del 1815 avesse presentato all'Accademia « un cotale suo ingegno, che ricevendo il moto dal pendolo oscillante fra le due colonne elettromotrici, segnava oltre alle ore del giorno eziandio i minuti primi e secondi *con tal esattezza e precisione di tempo da poter reggere al confronto di qualunque altro orologio, a molla o a peso* ». Applicazione, cotesta, di cui lo Zamboni reclamava però la priorità, avendo fatto costruire dal meccanico Carlo Streizig, veronese, un orologio simile fino dal principio del 1814, per il gabinetto di fisica del Liceo di Verona. È pure interessante il fatto che cotesto « *moto perpetuo* elettrico dello Zamboni », richiamando al Bohnenberger l'elettrometro del Behrens, gli suggeriva l'idea di quell'altro elettroscopio che ne porta il nome e ch'egli fece costruire dal Butzengeiger che già abbiamo nominato, meccanico dell' Università di Tubinga, secondo narra egli stesso — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1821, T. XVI, p. 92 —.

(2) Dell'elemento Latimer-Clark pubblichiamo — pag. 425 — il disegno delle due forme più comuni con un cenno sommario di descrizione. Il Weston — 1891 — è identico in tutto ad esso, tranne che nell'esservi usato il cadmio — metallo già introdotto nell'elemento di pila dallo Czapski nel 1884 — anzichè lo zinco.

Di un altro tipo, di generatori di corrente elettrica, è a dirsi invece che ne andò acquistando una sempre maggiore e teneva viva ancora alla fine del secolo l'attenzione di più di uno studioso: gli *accumulatori*, cioè, o *pile secondarie*. Primo esemplare ne è quello inventato dal Ritter — 1803 — pila inattiva per se stessa — formata di dischi di rame impilati, separati da rotelle di panno imbevuto di una soluzione salina, per esempio di solfato potassico — ma che, dopo essere stata sottoposta all'azione di una corrente elettrica, era capace di fornire una corrente essa stessa; corrente, che i fisici chiamarono e chiamano di *polarizzazione*, od anche *secondaria*, e che — 1839 — il Grove otteneva producendo — mediante una corrente *primaria* — depositi di idrogeno e di ossigeno su lamine di platino immerse nell'acqua.

Si è però il 1860 che deve considerarsi come la vera data della origine degli studi che portarono alla ricerca e costruzione degli accumulatori. In quell'anno il Planté faceva conoscere certe particolarità del piombo immerso in acqua acidulata con acido solforico e sottoposto ripetutamente ad un trattamento speciale in un recipiente contenente appunto acqua acidulata con acido solforico. Se in un vaso, in cui si trovi di cotesto liquido, si pongono due lamine di piombo, e queste si fanno comunicare con i poli di una pila lasciando che la corrente operi per un certo tempo, la lamina, che sta al polo positivo, si ricopre di biossido di piombo. Se allora si tolgono le comunicazioni con la pila e si fanno comunicare tra loro le due lamine, si ha una corrente elettrica, durante la quale una parte del biossido perde ossigeno, trasformandosi in ossido, mentre l'altra lamina — che prima non aveva subito alterazione — si ricopre a sua volta di biossido. La corrente — che è di senso inverso di quella fatta passare prima — cessa quando le due lamine sono ricoperte di strati identici di cotesto biossido. Ora il Planté aveva avuto ad osservare che, ripetendo parecchio per la medesima coppia cotesta operazione, la ossidazione delle lamine di piombo si produceva a profondità di volta in volta maggiore, e la corrente che se ne otteneva diveniva, di volta in volta, più grande: v'era lì una via per la quale immagazzinare dell'energia. E di lì passava egli alla costruzione del suo celebre accumulatore, le cui grandi batterie destarono il più vivo interesse del mondo scientifico e di quello industriale — che ne vedeva tutta la portata pratica —.

La pila termoelettrica del Clamond.
Modello disposto per uso di calorifero a carbone.

L'accumulatore Planté aveva nondimeno un grave difetto. Esso richiedeva la costosa *formazione* — come venne chiamata cotesta operazione del caricare e scaricare ripetutamente le lamine di piombo —; onde l'inventore stesso pensava di poter ovviare all'inconveniente col deporre preventivamente uno strato di minio — biossido di piombo — su una delle lamine — la positiva —; senonchè, mancando all'atto pratico una buona aderenza, egli aveva dovuto rinunciare all'idea.

La riprendeva il Faure, riuscendo nel 1881 ad ottenere migliori risultati con l'avvolgere in sacco di feltro la lamina coperta di minio, modificando anche la forma degli elementi. Sebbene quegli accumulatori dovessero subire ancora numerose e non piccole modificazioni, i risultati avutine furono tanto buoni che si cominciò ad applicarli alla illuminazione elettrica, ed in meno di due anni nella sola Inghilterra si prendevano ben cinquantadue brevetti per accumulatori.

Quanti tipi si siano creati da quell' epoca pur non lontana nessuno — pensiamo — saprebbe dire esattamente. Meritevoli di nota però alcuni sistemi con cui si riuscì ad ottenere che la *materia attiva* — miscela di ossidi di piombo — rimanesse ben aderente al sopporto inerte: così il Tudor ideava di comprimerla entro scanalature praticate nella lamina di piombo, il Correns di serrarla tra due griglie di piombo, sovrapposte in modo che i crocicchi dell'una siano affacciati ai centri delle cavità dell' altra; il Gandini dava senz'altro all'elemento la forma di una pila a vaso poroso, valendosi di questo per contenere la materia attiva e separarla dell'altro elettrodo; e, mentre nello Schoop ed in altri si ricorreva ad uno strato di materia gelatinosa quale si ottiene, ad esempio, mescolando soluzioni di silicato potassico o sodico con acido solforico — posto, quello strato, tra una placca e l'altra per impedire la caduta degli ossidi malgrado le scosse che l'accumulatore, destinato alla trazione, doveva subire per moto dei veicoli — il Tribelhorn foggiava i suoi accumulatori a scodelle troncoconiche di piombo, impilate, munite di scanalature elicoidali su le due superficie — scanalature destinate a ricevere le miscele attive — e ad orli così conformati da dare molta stabilità alle miscele stesse.

Negli ultimi anni del secolo si rivelò poi la convenienza di costituire l'accumulatore insieme con placche del tipo Planté — assai più robuste che non le altre — e con placche del tipo Faure — a materia attiva riportata preventivamente — cercando di rendere molto estesa la superficie delle prime.

I tipi di accumulatori si andarono così moltiplicando in modo sorprendente, procurandosi dagli inventori di conseguire insieme economia di prezzo, costruzione resistente alle azioni deterioratrici — sia della carica e della scarica, sia degli scuotimenti cui sono sottoposti in talune applicazioni — buon rendimento, e grande *capacità* — ossia attitudine ad immagazzinare quantità di energia notevoli rispetto al peso dell'accumulatore —. Così vennero gli accumulatori *Fulmen* — 1895 — a placche costituite da un inviluppo di celluloide perforato, riempito con materia attiva e recante al centro un'anima conduttrice di piombo; od i Gülcher nei quali la materia attiva è rattenuta da un tessuto ordito a filo di piombo, con trama di filo di vetro.

Si ebbero anche tipi staccantisi completamente da quelli che siamo andati esponendo. Tale il Waddel Entz — 1893 — che trovò subito estesa applicazione in America, ed ha placche positive formate da masse di filo sottile di rame disposto in modo da costituire un complesso robusto ed assai poroso, placche negative in tela di ferro stagnato, e per liquido una soluzione di zincato di un metallo alcalino — sodio, o potassio —: tale è pure l'accumulatore inventato dall'Edison allo spirare del secolo, in cui il liquido è un idrocarburo

di potassio, mentre la materia attiva è formata da nikel e grafite per una delle placche, da ferro e grafite per l'altra — cementate, coteste miscele, a pressione idraulica in mattonelle e collocate entro astucci forati in acciaio fuso —.

A dare poi una idea delle proporzioni a cui si giunse con gli elementi, basterà ricordare quello al piombo della *Gould Storage* preparato per la Esposizione Panamericana di Buffalo — 1901 — e consistente, ogni elemento, di 50 placche positive e 51 negative — larghe 38 cm. ed alte 76 — rappresentanti, quindi, nel complesso un rettangolo di oltre 14 metri quadrati per placca, e che — comprendendovi il liquido ed il recipiente — pesava ben 40 quintali, mentre poteva fornire per un'ora lo stesso lavoro di una macchina da oltre quaranta cavalli dinamici — più precisamente 32 chilowatt-ore —.

Già verso il 1890 gli accumulatori erano entrati — in Germania, prima che altrove — a far parte dei grandi impianti di illuminazione elettrica, nei quali costituiscono una preziosa riserva di energia — che si accumula nelle ore di scarso lavoro, e si impiega in quelle di maggiore richiesta. — Nelle grandi centrali per trazione essi hanno pure trovato — per il medesimo ufficio — il loro posto; ed andarono sostituendo le pile negli uffici telegrafici e telefonici. L'automobilisimo, invece, non vi ha trovato ancora quanto sperava: ciò a cagione dell' enorme peso delle batterie e del deterioramento che ad esse portano gli scuotimenti, nonchè i salti bruschi nella quantità di energia che la batteria deve fornire nelle varie fasi della corsa. Medicina e chirurgia vi hanno per contro un tipo di elettromotore molto comodo e conveniente.

La pila termoelettrica del Gülcher.

Tipo medio — da 50 elem. —: dà una forza elettrom. pari a tre elem. Daniell in serie, col cons. di 130 litri di gas per ora.

Nel complesso è a dirsi che alla fine del secolo la scienza e l'industria possedevano nell'accumulatore un nuovo organo d'importanza tutt'altro che trascurabile: esso aveva preso largamente — molto largamente — il posto che al principio del secolo aveva avuto la pila.

Di un terzo modo di produzione della corrente elettrica già si parlò — pag. 199 a 204 — a proposito dell'applicazione che le *correnti termoelettriche* trovarono alla misura delle temperature; onde, qui non avremo che a dire come, se il Pouillet — all'epoca in cui faceva gli studi celebri su le leggi relative alla intensità delle correnti — ideava e si costruiva pile termoelettriche, a bismuto e rame, all'unico scopo di avere costanza di correnti, altri mirarono invece od avere un generatore che si potrebbe chiamare industriale. Così avvenne che, sia poi per lo studio scientifico, sia poi per l'applicazione pratica, i tipi di elementi termoelettrici e di pile composte con essi fossero veramente numerosi.

Non ci sembra tuttavia che, oltre quelli già nominati nella parte relativa alla storia dei metodi di determinazione delle temperature, meritino di essere ricordati altri se non quelli di Edmondo Becquerel — che a lungo minuziosamente studiava le leggi dello svolgimento delle correnti termoelettriche in sostanze diverse ed a diversi temperature —; del Bunsen — 1864 — a rame e pirite naturale di rame; del Marcus — stesso anno — a leghe di rame e zinco e di antimonio e zinco; del Farmer — 1867 — che tentava — senza riuscirvi, però, a motivo del fendersi degli elementi durante il raffreddamento — di rendere pratica, nella costruzione e nell'uso, la pila; del Clamond, che, dopo tentativi infruttuosi fatti col Farmer — 1867 — riusciva in seguito — 1874 — a costruire un vero calorifero, nel quale il salto di temperatura tra il focolare — a cui corrispondevano dei prismi di lega d'antimonio e zinco, come nella Marcus — e gli irraggiatori di calore — formati da lamiere di rame costituenti, con lamierine di ferro zincato, l'altro polo della pila — era utilizzato a produrre corrente elettrica con cui potevasi la sera mantenere direttamente accese delle lampade, di giorno caricare degli accumulatori. Ed a cotesti aggiungeremo, al più, la pila del Nöe — 1871 a 1879 — ad argentana e lega a base di antimonio, elemento di cui — *Journ. de Phys.* a. 1879, pag. 232 - si occupava assai quell' eminente scienziato che è il Waltenhofen; e l'altra, più recente, del Gülcher — 1891 — ad elementi formati da un tubetto di nikel — che fa da camino alla fiamma di un becco Bunsen a gas — e da prismi di una lega di antimonio e zinco. Come in certi modelli della Clamond, e nella Nöe, così nella Gülcher il mettere in attività la pila non richiede che l' accensione di una serie di becchi a gas; esse — durante un certo periodo di tempo, già tramontato, per altro, alla fine del secolo — erano riuscite perciò comode ai medici.

In tutti cotesti generatori termoelettrici si trasforma direttamente il calore in energia elettrica: pertanto teoricamente — per cotesto lato — essi costituiscono l'ideale dei generatori elettrici. Sgraziatamente il loro rendimento non può essere alto, e forte invece è sempre il loro deterioramento; onde, ancora alla fine del secolo, essi non avevano che una applicazione assai limitata, e non valsero a realizzare le speranze concepite su di essi.

Quanto al problema, al quale fu testè accennato, della trasformazione *diretta* del calore in energia elettrica, è a dirsi che la soluzione di esso aveva tentato molti, appunto per la sua alta importanza economica. Ma nessuna soluzione conveniente ne venne trovata fino ad ora; tali non potendosi considerare apparecchi come le *pile idro-termo-elettriche*, siano pure nei loro tipi più notevoli — dell'Essik e del Jacques (1) —.

(1) Il generatore dell'Essik si riduce in sostanza ad un generatore del Daniell, del quale si accresce la potenza specifica riscaldandolo fin verso gli 80.° C., col che si aumentano e l' attività chimica dei corpi e la conduttività elettrica del liquido che lo costituiscono.

L'altro del Jacques — 1896 — ha per elettrodo positivo un vaso di ferro contenente un bagno di soda caustica, in cui pesca un prisma di carbone — elettrodo negativo. — Nel bagno si può — mediante una piccola pompa agente con parte dell'energia fornita dall'apparecchio stesso — far gorgogliare dell'aria, e — mercè un fornello nel quale è posto il vaso di ferro ed in cui si può bruciare del carbone — si ha il mezzo di riscaldare il vaso stesso. Sotto l'azione concomitante del calore e della corrente che si genera, l'ossigeno dell'aria gorgogliante continuamente per entro alla soda in fusione si combina col carbone del prisma. Come si vede si è ben lontani dall'apparecchio realizzante la trasformazione diretta — in energia elettrica — del calore fornito dal carbone.

IV.

La legge dell'Ohm. Le azioni elettromagnetiche ed elettrodinamiche.

Fu accennato — parlandosi dei generatori termoelettrici — alle esperienze del Pouillet. Diciamo ora che esse hanno nella storia della scienza una grande importanza perchè diedero la sanzione dell'esperienza alle leggi relative alla intensità della corrente; leggi delle quali, come di altri fatti, è necessario dire prima di parlare della grande scoperta del Faraday e dei procedimenti con cui si genera per l'industria moderna la corrente elettrica.

Cotesta intensità della corrente, a parità di *forza elettromotrice* fornita dal generatore, dipende dalla natura e dalle dimensioni dei corpi costituenti il *circuito* percorso dalla corrente stessa, e del quale — è ovvio — forma parte il generatore medesimo; fatto che i fisici esprimono col dire che la corrente incontra nel propagarsi una *resistenza* più o meno grande.

Ohm.
Ripr. dal monumento del Rümann esist. nel Politecnico di Monaco, fatta eseg. dalla Casa Editrice Johann Ambrosius Barth di Lipsia per il vol. *Gesammelte Abhandlungen von G. S. Ohm* da essa pubbl. nel 1892.
Per cort. concess. dell'ill. Casa Editrice.

Già nel 1821 il Davy aveva riconosciuto che cotesta resistenza — la cui diversità nei vari casi era stata subito notata — cresce nei fili metallici proporzionalmente alla loro lunghezza ed è proporzionale inversamente alla estensione della loro sezione trasversale. Il Becquerel, con le sue *Rech. sur le pouv. conducteur des métaux pour l'électricité* — lette all'*Ac. R. d. Sc.* il 31 gennaio 1825 — confermava il fatto valendosi del *galvanametro differenziale* da lui inventato. Però una teoria completa del circuito elettrico veniva stabilita solo — quasi subito dopo — da Giorgio Simone Ohm di Erlangen, insegnante superiore di matematica e fisica nel Ginnasio di Colonia, con quel volumetto « *Die galvänische Kette mathematisch bearbeitet* (1) — da lui scritto nell'anno sclolastico 1826-27 e pubblicato appunto nel 1827 coi tipi del Riemann di Berlino — che per la piccola mole, per la sagacia della trattazione, per la importanza immensa, si potrebbe paragonare alla monografia del Carnot — pag. 20 e seg. —, con cui ha comune un punto assai curioso.

Come il giovane ufficiale del genio francese aveva basato il suo lavoro su una ipotesi falsa — quella della materialità del calore — così il matematico di Erlangen fondava la sua opera sulla ipotesi che la elettricità si propagasse nel conduttore come il calore attraverso ad un muro. « La forma delle equazioni differenziali così ottenute » scriveva egli parlando della pro-

(1) *Il circuito galvanico trattato matematicamente.* — Ne fu pubblicata una versione italiana nel 1847 — a Pisa, coi tipi del Vannucchi — dal dott. Achille Perugia.

pagazione dell'elettricità — « è tanto simile alla forma data da Fourier e Poisson a quelle pel movimento del calore, e v'è tanta similitudine nel modo di trattarle, che appunto già da cotesta somiglianza, senza prove ulteriori, potrebbesi a tutta ragione dedurre una connessione intima tra i due fluidi ».

La scienza moderna, invece, ha stabilito che l'energia si propaga, non nel filo, ma nel dielettrico che avvolge il conduttore. « Il filo non è un canale dentro al quale l'energia fluisca; è una rotaia lungo la quale l'energia scorre esternamente, e nella quale una parte di questa si dissipa come calore... In mezzo al dielettrico circostante, che è il corpo ove le forze hanno sede e si trasmettono, il filo non fa altro che stabilire una linea di debolezza, la quale fa sì che la propagazione dell'energia avvenga in una direzione determinata » (1).

Örsted.
Da una stampa dell'epoca, cortes. ricercata e fav. all'a. dall'illustre Dott. N. Mayer, cav. dell'ord. del Danebrog, direttore gen. dei telegrafi di Danimarca.

Tali sono le vedute a cui la scienza moderna fu condotta, prima dal Faraday e dal Maxwell, successivamente e definitivamente dal Poynting — professore al *Mason College* di Birmingham — quando scavava — per valerci ancora delle parole di Galileo Ferraris — « dalla miniera delle formole del Maxwell dove era racchiuso completo, ma allo stato latente, il suo teorema sul flusso della energia nel campo elettro-magnetico; un teorema che quantunque presentato soltanto pel caso speciale della energia elettro-magnetica ha avuto per effetto di mettere in evidenza un concetto molto più largo, il concetto della continuità dell'energia ».

Errò dunque l'Ohm. Ma l'errore non gl'impedì di stabilire una legge che è una vera pietra angolare della elettrotecnica. Come il Carnot, l'Ohm aveva saputo scegliere il metodo: più felice ancora — in un certo senso — che il Carnot, egli, con intuizione acutissima, aveva ritenuto esplicitamente « che la comunicazione della elettricità abbia luogo *immediatamente* solo da un elemento del corpo ad un altro contiguo, così che tra elementi non contigui non vi sia comunicazione immediata di elettricità ». E cotesto principio è vero: se non vale per il conduttore, vale per il dielettrico: grazie ad esso e ad altri fatti la cui esposizione non può trovare luogo qui, nonchè grazie al metodo, l'Ohm riusciva a dare alla scienza una delle leggi che ne è, lo ripetiamo, tra le maggiori pietre angolari, e che, per consenso universale, venne chiamata dal di lui nome glorioso (2).

(1) G. Ferraris. *Sulla trasmissione elettrica dell'energia.* Disc. letto alla sed. solenne 3 giugno 1904 della R. Acc. dei Lincei.

(2) L'enunciato della celebre legge si trova a pag. 36 dell'edizione originaria, e tradotto letteralmente suona così: « La grandezza della corrente in un circuito galvanico è proporzionale direttamente alla somma di tutte le tensioni ed inversamente alla intera lunghezza ridotta del circuito ». Il « lunghezza ridotta » indica quanto si chiamò poi, e si chiama tuttora, resistenza.

Della sua opera l'Ohm modestamente scriveva nella prefazione: « In questo libro pubblico una teoria dell'elettricità galvanica, come parte speciale della teoria generale dell'elettricità, e seguiterò di mano in mano ad ordinare parecchie di tali parti ad un tutto, purchè il tempo e la salute me lo consentano, e purchè questo mio tentativo venga giudicato meritevole delle fatiche che mi costa ». E quel « tentativo » era uno dei lavori veramente insigni del secolo XIX!

I lavori dell'Ohm sono molti, e non tutti su l'elettricità. Essi vennero, sotto la direzione del Lommel, professore dell'Università di Monaco, pubblicati in un volume di oltre 850 pagine coi tipi del Barth di Lipsia.

Quanto a cotesta legge — dall'Ohm, come si disse, trovata col calcolo — essa veniva in un certo senso riscoperta molto più tardi — e ne riusciva confermata — dal Pouillet, mediante esperienze classiche da lui comunicate all'Accademia di Francia — *C.R.* a 1837, T. IV — e pubblicate nel primo tomo del suo — meritamente — celebre trattato di fisica.

Al fare, poi, misure esatte su le correnti avevano aperto la via i fenomeni elettromagnetici ed elettrodinamici che nel frattempo si erano andati scoprendo, studiando ed applicando, dopo che il mondo scientifico si era commosso per una osservazione molto semplice — ma tra le più importanti e celebri che la storia della fisica registri — di uno scienziato danese, Giovanni Cristiano Örsted (1) professore di fisica all'Università di Copenhagen. Questi — in una brevissima monografia latina pubblicata in quella città con la data del 21 luglio 1820 (2) — aveva fatto conoscere come, ove si ponga una parte rettilinea di un filo percorso da una corrente elettrica « in posizione orizzontale sopra un ago magnetico sospeso come al solito e parallelo al filo stesso.... l'ago magnetico si moverà e devierà verso occidente sotto quella parte del filo congiungente che riceve l'elettricità prossimamente dall'estremità negativa dell'apparecchio galvanico » (3).

Un fisico francese, Andrea Maria Ampère — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1820, T. XV, p. 66 e seg. — vedeva nell'esperimento dell'Örsted il mezzo di riparare alla mancanza di un « istrumento che facesse conoscere la presenza della corrente elettrica in una pila od un conduttore e che ne indicasse la energia e la direzione », come « l'elettrometro ordinario indica quando si ha tensione e la intensità di cotesta tensione ». Egli scriveva: « basta che la pila od una porzione qualunque del conduttore siano posti orizzontalmente pressapoco nella direzione del meridiano magnetico, e che un apparecchio simile ad una bussola, e che non ne differisce se non per l'uso che se ne fa, sia messo su la pila, ovvero sotto o sopra cotesta porzione del conduttore. Fino a che vi è qualche interruzione nel circuito, l'ago magnetizzato resta nella posi-

E' il volume da cui è tolto il bel ritratto dell'Ohm che noi pubblichiamo. — Il primo lavoro era comparso negli Annali del Poggendorff — Tomo IV, a. 1825, p. 79 a 88 —: i successivi lo furono parte nello *Schweigger's Journal*, altri nel *Kastner's Archiv*, ed altri ancora appunto negli Annali del Poggendorff. Nel Tomo LV — pag. 178 e 179 — di questi Annali — a. 1842 — si trova anzi un elenco di tutti quei lavori su l'elettricità, fino al 1833 con le indicazioni bibliografiche. Dopo il 1833 l'Ohm si occupò principalmente di acustica e di ottica, lasciando anche ivi la traccia luminosa del suo ingegno potente, come per l'acustica fu accennato a pag. 116.

(1) Adottiamo questa grafia, invece dell'altra O-Erstedt, perchè abbiamo avuto campo di riconoscere che essa é quella che risponde al vero.

(2) « *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam* ». Da quella brevissima memoria si rileva che le esperienze — variate molto, anche ponendo il filo sopra l'ago, impiegandovi « fili di platino, oro, argento, ottone, ferro, striscie di piombo e di stagno, una massa di mercurio », ed interponendo tra l'ago ed il filo o le striscie « una lastra di vetro, di metallo o di legno ..., di porfido, un vaso di terra cotta, anche se pieno d'acqua » — erano state eseguite — nell'inverno antecedente « con un grande apparecchio galvanico » costruito dall'Örsted stesso — con l'aiuto dell'amico suo Esmarch, Consigliere di Tribunale, e con l'intervento, come testimoni, di Wleugel, prefetto del Governo, Hauch celebre naturalista, dell'« acutissimo Reinhardt, professore di storia naturale, del professore di medicina Jacobsen sagacissimo nell'eseguire esperienze e dell'espertissimo chimico Zeise, dottore in filosofia ».

(3) Si attribuisce al Romagnosi la priorità nella osservazione di cotesta azione deviatrice della corrente rispetto all'ago magnetico. Ora — secondo quanto appare dallo stesso articolo fatto inserire dal Romagnosi nella *Gazzetta di Trento* del 3 agosto 1802 — la osservazione di lui fu affatta diversa: consistette essa in ciò, che, avvicinando un polo della pila all'ago della bussola *tenuta bene isolata*, l'ago deviava e restava deviato fino a che non si prendeva la bussola tra il pollice e l'indice. L'articolo fu riportato nel T. XVI, p. 88, degli *Annali di fisica, chimica e matematiche* del Majocchi, il quale concludeva che « esaminando attentamente il fenomeno che si descrive, potrebbe nascere il sospetto di essere esso un effetto di semplice attrazione di elettricità statica, piuttosto che un conflitto elettromagnetico ». V. nota a pag. 66 del volume « *Elettricità e magnetismo* » di Fleeming Jenkin, vers. di Lamberto Cappanera, Firenze M. Cellini e C., 1877.

zione ordinaria; ma esso se ne allontana, tosto che la corrente si stabilisce, tanto più quanto più ne è grande l' energia, ed esso ne fa conoscere la direzione mercè questo fatto generale, che se ci si pone col pensiero nella direzione della corrente, in modo che essa sia diretta dai piedi alla testa dell'osservatore e che questo abbia la faccia rivolta verso l' ago, è costantemente alla sinistra che l'azione della corrente farà deviare quella delle estremità dell'ago che si volge al nord...: è ciò che esprimerò più brevemente dicendo che il polo australe dell'ago è portato a sinistra della corrente che agisce su di esso ». E proseguiva: « Io penso che, per distinguere cotesto istrumento dall'elettrometro ordinario, si deve dargli il nome di *galvanometro*, e che conviene impiegarlo in tutte le esperienze su le correnti elettriche ».

Ampère.
Da una stampa della *Bibl. Nat.* di Parigi.
Cliché cortes. fav. dai sig. E. Sartiaux e M. Aliamet, e da essi fatto eseg. per il lav. ric. in nota a pag. 219.

Così la scienza acquistava il galvanometro e veniva formulata quella celebre regola — o legge come con locuzione non propria la chiamano i trattatisti — che si chiama per antonomasia la *regola di Ampère*, e che, nella scienza e nella tecnica della elettricità, trova applicazione ad ogni momento.

Lo Schweigger subito — 1821, « *Elektro agnetische Multiplicator* » in *Schweigger's Journal*, T. XXXI, pag. 35 a 41 — rendeva più comodo e più sensibile il galvanometro mediante un *moltiplicatore* — telaietto verticale nel mezzo del quale era posto l'ago, ed intorno al quale si avvolgeva per parecchi giri il filo coperto di sostanza isolante, e percorso dalla corrente —: ed Edmondo Becquerel, per avere maggiore squisitezza, ideava di usare tre galvanometri alla Schweigger, messi l'uno di fianco all'altro, in modo che del medio il polo australe fosse nella sfera d'azione del boreale del primo, ed il boreale del medio in quella dell'australe del terzo.

Ma il perfezionamento maggiore — un grande perfezionamento — lo portava Leopoldo Nobili di Reggio Emilia, già ricordato da noi — pag. 200 e seg. — per i lavori su le correnti termoelettriche. (1) Egli, approfittando di ciò che « avevano già i fisici riconosciuto che si poteva rendere più delicato il galvanometro di Schweigger col porre al disotto dell'apparecchio un piccolo ago magnetico nella situazione necessaria a diminuire la forza con la quale l'ago dell'istrumento tende a mantenersi nel meridiano magnetico », ideava il galvanometro a *sistema astatico*, avente — invece che uno solo — due aghi « paralleli, eguali in lunghezza e grossezza, calamitati in senso inverso, e

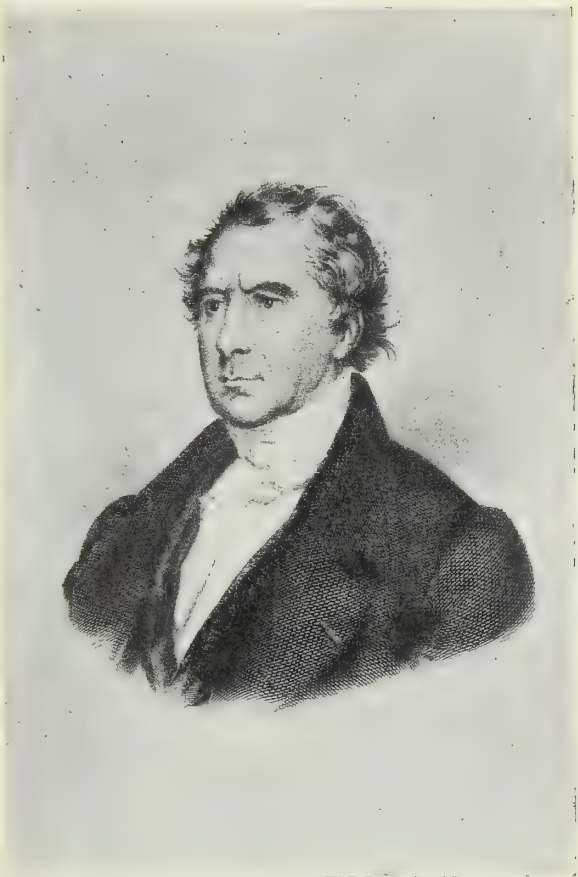
(1) « Descrizione di un nuovo Galvanometro »: memoria letta il 13 maggio 1825 all'Acc. d. Sc. di Modena, e pubbl. nel *Giornale* del Brugnatelli, a 1825, T. VIII della seconda decade, p. 278 a 282.

portati da una paglia ch' essi traversano perpendicolarmente per mezzo ». Quanti servigi ha reso e rende alla scienza cotesto galvanometro del Nobili! Quanti fatti ha esso permesso di constatare! A quante scoperte ha servito!

Nè dimenticheremo come il Nobili in una breve nota successiva — *Giorn.* del Brugnatelli, t. cit, pag. 336 a 338 — esponesse la convenienza di usare un magnete per regolare il grado di sensibilità del sistema astatico — procedimento tuttogiorno applicato negli istrumenti più squisiti, quali sono quelli del Wiedemann e del Kelvin —.

Il Gherardi « in uno scritto pubblicato nel bollettino scientifico di Bologna (1) » proponeva, a rendere più sensibile il galvanometro del Nobili, di usare due moltiplicatori sovrapposti e quattro aghi portati da una stessa paglia — il che rivendica all'Italia cotesta idea realizzata molto più tardi dal Kelvin e da altri. Ed al Gherardi pure è dovuta l' aggiunta al galvanometro — del Nobili — del lungo indice leggero solidale col sistema astatico, col quale si fanno le letture.

Arago.
Da una stampa della *Bibl. Nat.* di Parigi.
Cliché cortes. fav. dai signori E. Sartiaux e M. Aliamet, e da essi fatto eseg. per il lav. ric. in nota a pag. 219.

Tali sono le origini del galvanometro. In processo di tempo altri principi si scoprirono e si applicarono alla çostruzione di istrumenti di misura per l' elettricità: cotesti istrumenti ebbero tipo e costruzione diversissimi, secondo lo scopo cui erano destinati, ed oggi, mentre la scienza dispone per le sue ricerche di istrumenti di una grande squisitezza, quali — per attenerci ad istrumenti basati su l'*effetto Örsted* — la bussola dei seni e delle tangenti del Pouillet — 1837 — o gli altri del Wiedemann e del Kelvin già nominati, l'industria ha *amperometri* per misurare la intensità delle correnti, *voltometri* per misurarne le differenze di potenziale, *wattometri* per valutarne la potenza — tenendo conto di entrambi i fattori, intensità e differenza di potenziale —. Ma i galvanometri dell'Ampère, dello Schweigger, del Becquerel — tramontati tosto all'apparire di quello del Nobili — e cotesto sopra tutti, vogliono essere ricordati con quell'onore con cui si considerano gl'istrumenti che più hanno contribuito a stabilire le basi del patrimonio della scienza.

(1) *Giornale* del Brugnatelli, T. cit., pag. 337.

Quasi contemporanee alla scoperta dell' Örsted sono quella delle azioni reciproche dei circuiti percorsi delle correnti, nonchè dei magneti su questi, e l'altra del potere magnetizzante della corrente; l'una, dovuta all'Ampére — Comunicazioni all'*Ac. R. d. Sc.* dal 18 e 25 settembre e 2 ottobre 1820; in *Ann. de Ch. et. de Phys.* stesso anno, T. XV, p. 59 e 170 — l'altra all'Arago.

Con la prima l'Ampère riduceva i fenomeni dei magneti a fenomeni di correnti elettriche, riunendo così in un solo ordine dei fatti che erano fino ad allora sembrati completamente indipendenti; forniva il principio per la costruzione degli *elettrodinamometri* — di cui il primo veniva ideato dal Weber nel 1846, e che poi il Siemens per il primo rendeva istrumento industriale — nonchè quello per la costruzione dei galvanometri ed istrumenti industriali dal tipo Deprez-d'Arsonval — inversi di quello del Nobili, e cioè a magnete fisso e moltiplicatore mobile —; e finalmente, oltre mezzo secolo prima che l'industria trovasse il vero motore elettrico, veniva a stabilire le norme con cui un circuito percorso da una corrente determina il moto in un altro nel quale una corrente giunga o si susciti (1).

Dell'azione magnetizzante della corrente — secondo quanto il ch. prof. A. Volta scoperse negli atti dell' Accademia di Torino — la prima osservazione era stata fatta in Italia non dopo la prima metà del 1804: il conte Morozzo aveva infatti osservato come degli aghi sottili di acciaio, sottoposti all'azione della pila del Volta e messi a galleggiare sull' acqua, si orientassero secondo il meridiano magnetico. La osservazione del Morozzo però era rimasta dimenticata e sterile; fatto strano, cotesto, perchè gli Atti di quella Accademia avevano importanza grande, ed erano letti dagli scienziati stranieri, sì che spesso nei lavori di questi se ne vede fatta menzione. Fu solo nel 1820 che Francesco Arago faceva conoscere — *Ac. d. Sc.*, seduta del 25 settembre (2) — che « il filo di congiunzione della pila di Volta si carica di limatura di ferro, come lo farebbe un magnete. Cotesto filo dunque non agisce

(1) I fatti principali — più importanti, non solo per la scienza, ma anche per la industria — stabilita dall'Ampère, su quell'argomento, sono i seguenti: 1.° un conduttore mobile percorso da una corrente elettrica — *l. c.* p. 196 e seg. — tende a mettersi perpendicolare ad un magnete — che gli stia sopra o sotto — in direzione tale che il polo nord rimanga a sinistra della corrente, secondo la regola indicata a pag. 434; 2.° i conduttori paralleli percorsi da correnti elettriche — *l. c.* p. 69 — tendono ad attrarsi, ove esse siano del medesimo senso; a respingersi, ove siano di senso opposto; 3.° i conduttori ad angolo, percorsi da correnti elettriche, — *l. c.* p. 74 — tendono ad attrarsi ove la corrente si diriga in entrambi verso il vertice dell'angolo , o da questo si allontani; tendono a respingersi ove la corrente proceda *verso il* vertice nell'uno, e *dal* vèrtice nell'altro; 4.° l'azione attrattiva o ripulsiva di una corrente sinuosa — *l. c.* p. 176 ed altre — equivale a quella di una corrente rettilinea di lunghezza uguale alla proiezione della sinuosa su la direzione di quella rispetto alla quale l'azione stessa è esercitata; per cui un *solenoide* — conduttore ad elica il cui filo é ripiegato secondo l'asse per lunghezza uguale a quella di questo — equivale — pag. 176 e seg. — ad un sistema di correnti circolari, ed un magnete non é che un fascio di solenoidi.

Tutti cotesti fatti sono riassunti dall'Ampère in fine — *l. c.*, pag. 209 e seg. —. Notiamo che nel medesimo tomo si trova la descrizione degli apparecchi — *tavolo di Ampère* — costruiti dall'Ampère stesso, con cui egli compì quegli studi; apparecchi che, con qualche insignificante modificazione, sono tuttogiorno usati nei corsi.

(2) V. *Ann. de Ch. et. de Phys.* a. 1820, T. XV, p. 82. Nello stesso Tomo, pag. 93 a 102, trovasi un articolo dell'Arago, in cui questi espone in modo particolareggiato le sue esperienze. È un articolo importantissimo, nel quale, tra altro, l'Arago parlando dell'arco voltaico che il Davy aveva ottenuto con la grande pila di 2000 elementi della *R. I.*, scrive: « E' senza dubbio molto naturale il supporre che una tale corrente elettrica » — l'arco luminoso, che l' Arago considera senz' altro come parte della corrente — « agirà su l'ago magnetizzato precisamente come se questo si movesse lungo un filo metallico di connessione; tuttavia l'esperienza mi sembra meriti di essere raccomandata ai fisici che hanno a loro disposizione delle pile voltaiche di grande potenza, soprattutto per le vedute che essa può far nascere relativamente alle auorore boreali ».

solo su gli aghi già magnetizzati, ma anche sviluppa il magnetismo nel ferro che non ha subito magnetizzazione preventiva ».

Sappiamo poi da lui stesso — *Ann. de Ch. et. de Phys.*, a. 1820, T. XV, p. 95 — come, avendo ripetuto le sue esperienze all'Ampère, questi — che aveva appena fatto la scoperta delle leggi delle attrazioni e ripulsioni delle correnti ed era venuto alla teoria che le attrazioni e ripulsioni magnetiche erano l'effetto di correnti circolanti intorno alle molecole del ferro e dell'acciaio — aveva « tosto l'idea che si sarebbe avuta una magnetizzazione più forte sostituendo al filo rettilineo un filo piegato ad elica, al centro del quale fosse posto il filo di acciaio, e sperava di più che si sarebbe ottenuta così una posizione costante dei poli, il che non avveniva col metodo dell'Arago (1). Per tale modo si acquistava la fonte più potente di magnetizzazione, e — ciò che non è meno importante — si era aperta la via alla invenzione — fatta poi dallo Sturgeon (2) nel 1825 — di quella *elettrocalamita*, o *calamita temporaria*, che ha trovato applicazioni in una serie di apparecchi ed invenzioni — dall' umile soneria elettrica ai più meravigliosi meccanismi telegrafici e telefonici — così svariata, copiosa, importante, che quasi non arriviamo nemmeno a concepire come potrebbe ora farne a meno la vita civile.

Che se il frutto della scoperta dell'Arago e dell'applicazione fattane dallo Sturgeon non si diffusero tosto con la rapidità che si potrebbe immaginare — nel 1828 soltanto si mostrava a Berlino dal Pohl una piccola elettrocalamita, e ancora nel 1830 il Pfaff trovava il caso di descriverne, nel Giornale dello Schweigger, una di quelle dello Sturgeon, costrutta dal Watkins, da lui veduta in occasione di un viaggio a Londra (3) — ciononostante la magnetizzazione del ferro per l' azione della corrente divenne l'oggetto di studi amplissimi e profondi in tutti i più minuti particolari.

Giuseppe Henry, professore di matematica alla *Institution* di Albany, cominciava dal realizzare un progresso importante nella costruzione della elet-

(1) I due grandi fisici fecero tosto la prova sperimentale; e vale la pena — a mostrare quanto fossero cauti nel procedere alla ricerca dei fatti — di riferire qualche particolare di quelle memorande esperienze. L'ago di acciaio « avvolto con carta fu introdotto nell'elica, ma solo dopo che era stata stabilita la comunicazione con i due poli, acciò l'effetto che si attendeva non potesse essere attribuito alla scarica elettrica manifestantesi all'istante stesso in cui il filo di collegamento viene a contatto con i poli ». Inoltre « durante tutta l'esperienza, la parte del filo nella quale si trovava racchiuso l'ago d'acciaio, rimase costantemente perpendicolare al meridiano magnetico, così che non si avesse a temere alcun che dall'azione del globo terrestre ». L'Arago fece poi « con filo di rame due eliche simmetriche, ciascuna di cinque centimetri circa, e separate da una parte rettilinea dello stesso filo »; — eliche simili, è sempre l'Arago che nota, a quelle che i botanici hanno designato col nome di *destrorsa* per l'una e *sinistrorsa* per l'altra —: « le spire di una si avvolgevano in un senso, quelle dell' altra nell' opposto » e con esse veniva constatata la norma generale di disposizione dei poli, come con un' elica tripla lo fu la formazione di *poli conseguenti*.

(2) Lo Sturgeon descriveva le sue prime elettrocalamite — una rettilinea e l'altra a ferro di cavallo — in una memoria presentata alla *Society of Arts* e pubblicata nel T. XLIII, p. 38, a. 1825, delle *Transactions* di quella Società. V. SILVANUS P. THOMPSON, *L' Electro-aimant et l' Electro-mècaniqne*, vers. di Boistel, Parigi, Fritsch, 1895. Il prof. Thompson in quel volume dà altre notizie storiche molto interessanti. Se ne rileva ad es. che nel 1825 stesso a Londra, il Watkins, costruttore di istrumenti a Charing-Cross, aveva costruito elettromagneti più grosse di quelle dello Sturgeon, e che il Moll professore ad Utrecht — già da noi ricordato a pag. 136 per le misure su la velocità del suono nell' aria — trovandosi a Londra, comperava del Watkins un' elettro calamita del peso di circa 5 libbre — 2,250 chilogrammi — ma ne costruiva più tardi egli stesso una con cui si portava un peso di 154 libbre — 70 Kg. — Lo Sturgeon ne montava poi una capace di portare 400 libbre — 180 Kg. — ed il Marsh un'altra che teneva sollevato un peso di 560 libbre — 254 Kg. —. Come si vede si cercava di aumentare sempre più la potenza di cotesto nuovo organo meccanico.

(3) SILVANUS P. THOMPSON, *op. cit.*

trocalamita, applicando all' avvolgimento del filo il concetto che aveva guidato lo Schweigger nel suo moltiplicatore; usando, cioè, filo ricoperto di rivestimento isolante, che poteva, quindi, essere avvolto a spire serrate e per parecchi strati: così « sul suo primo piccolo magnete egli avvolse trentasei piedi di filo, che faceva circa quattrocento giri. Cotesto magnete fu fatto conoscere nel 1829 (1) ». Un altro perfezionamento portato dall'Henry si fu la divisione del filo in molti rocchetti; egli giunse così a costruire elettromagneti capaci di portare fino a 3600 libbre. « Col provare » scrive il Mendenhall « la possibilità di costrurre elettromagneti di qualsivoglia potenza, egli diede la base ai più importanti procedimenti di utilizzazione dell'energia della corrente, venuti poi in uso (2) ».

Dopo gli studi dell' Henry, pubblicati nel 1831, ma rimasti pressochè sconosciuti in Europa per molti anni — tacendo dei tentativi del Wheatstone per elettrocalamite da telegrafia, rimasti sterili fino al 1837, epoca alla quale l'Henry andò a visitarlo al suo laboratorio del *King' s College* — la storia registra i monumentali lavori — supremamente importanti e geniali — del Faraday, contenuti nelle immortali *Experimental Researches in Electricity* — segnatamente quelli del 1831 e 1851 relativi al modo con cui è a concepirsi il meccanismo dei fenomeni del magnetismo e pubblicati nelle *Philosophical Transactions*, rispettivamente nel 1832 p. 125 e nel 1852 p. 1 — lavori — indipendentemente dalla stessa congerie di fatti acutamente scovati da quel colosso del metodo induttivo — altamente benemeriti della scienza per il concetto introdottovi delle *linee di forza magnetica;* registra i lavori del grande Joule, il quale — marzo 1839 — metteva in luce come, dal punto di vista dell'attrazione a distanza, avesse importanza l'area della sezione trasversale della sbarra e fosse svantaggioso l'aumentarne la lunghezza al di là di quanto era richiesto dallo spazio occorrente al filo destinato all'avvolgimento; registra gli studi dei russi Lenz e Jacobi, dell'americano Rowland, del Kapp, dei due Hopkinson, dell'Ewing, come registra le colossali elettrocalamite del Faraday, del Plücker, del Bancalari, di Feilitzch ed Holtz, del Thompson, fino a quelle mastodontiche fatte dal Maggiore King della Marina degli Stati Uniti con una coppia di cannoni, e dal luogotenente Bradley A. Fiske della stessa Marina — che per tentativi di trasmissione di segnali magnetici tra navi in mare convertiva senz' altro in nucleo d'elettromagnete nientemeno che il vapore *Atlanta* —.

Così da una parte si potè giungere senza difficoltà alla costruzione delle poderosissime elettrocalamite che caratterizzano alcune macchine moderne,

(1) MENDENHALL, *A Century of Electricity*, Boston and New York, Haughton, Miflin and Co., a. 1898, p. 81 e 82.

(2) MENDENHALL, *l. c.* — L'Henry stesso — S. Thompson, *l. c.* — riassumeva così i risultati da lui ottenuti: « 1.° anteriormente alle mie ricerche i mezzi di sviluppare la magnetizzazione nel ferro dolce erano compresi imperfettamente, e le elettrocalamite allora esistenti erano inapplicabili alla trasmissione, a distanza, dell'energia. 2.° Sono stato il primo a dimostrare con esperienze effettive che per sviluppare a distanza le proprietà magnetiche occorreva impiegare una pila galvanica « d' intensità », lanciante la corrente nel lungo conduttore, e che, per ricevere cotesta corrente si doveva fare uso d' un elettromagnete coperto d' un gran numero di spire di un lungo filo. 3.° Sono stato il primo a magnetizzare realmente a distanza una sbarra di ferro ed a richiamare l'attenzione sul fatto dell' applicazione possibile delle mie esperienze alla telegrafia. 4.° Sono stato il primo a far agire a distanza una soneria mediante un elettromagnete. 5.° I principi sviluppati da me sono stati applicati dal Dott. Gale a far agire a distanza l'apparecchio del Morse ».

dall'altra si venne col Rowland — 1873 — a stabilire formalmente il concetto — più o meno nettamente apparso, negli elementi suoi, alle menti del Cumming già dal 1821, poi del Ritchie, dello Sturgeon, del Dove, del Dub e del De la Rive, oltre che appunto del Faraday e del Joule — di un *circuito magnetico*, al cui flusso si poteva applicare una legge analoga a quella dell'Ohm per il circuito elettrico; legge che forniva analogia di denominazioni, introducendosi quella della forza *magnetomotrice* e della *riluttanza* — foggiate verso il 1883 dal Bosanquet e rispondenti rispettivamente alla forza elettromotrice ed alla resistenza del circuito elettrico — come il flusso risponde alla intensità della corrente. Così fu studiato in tutti i particolari il fatto che il ferro ed i materiali magnetici hanno *permeabilità* al flusso magnetico diversa secondo le circostanze, e si idearono da Ewing, Hopkinson, Eikemeyer, Du Bois Reymond, S. Thompson, Roiti, istrumenti — *permeametri* — con cui si studiano anche industrialmente le proprietà magnetiche del ferro, dell'acciaio, della ghisa, da impiegarsi nella costruzione delle dinamo, dei motori elettrici, dei trasformatori, dei misuratori; così coll' Ewing si arrivò a conoscere — e misurarne mediante appositi istrumenti, *isteresimetri*, la entità — il fenomeno dell' *isteresi* — ritardo della magnetizzazione su la forza magnetizzante, quando questa varia continuamente e rapidamente, come avviene in tanta parte delle macchine dell'elettrotecnica — con perdita di energia, e quindi di utile nel rendimento delle macchine stesse e delle industrie che le impiegano.

Henry.
Dal grande ritratto esist. alla Università *Mc Gill* di Montréal nel Canadà. Ripr. cortesemente fatta eseg. dal prof. E. Rutherford, l'illustre fisico di quella Università.

Senonchè v'è un altro lato sotto il quale è a considerarsi la storia dei fenomeni del magnetismo durante il secolo XIX, ed è quello del patrimonio di fatti che, toccando più direttamente la cintima ostituzione dei corpi, vengono a rischiarare alquanto la via a cotesta indagine tra le precipue della filosofia naturale.

Anche qui ci appare gigante il nome del Faraday per la poderosissima serie di ricerche e speculazioni, cominciate già nel 1821 con l'articolo « Su la teoria del magnetismo », pubblicate nel T. XII del *Quarterly Journal of Science,* e proseguite con quelle intorno all'azione del magnetismo su una moltitudine di corpi nelle condizioni le più svariate, ed intorno alla magnetizzazione della luce, per finire — abbracciando oltre un trentennio di una vita prodigiosamente operosa e, per acutezza di mente, singolarmente feconda — con le magistrali monografie del giugno e del dicembre 1854, la prima intorno alla « Ipotesi magnetica » — *Proc. of the R. Soc.* 9 giugno 1854 — l'altra « Su alcuni punti di filosofia del magnetismo » — *Phil. Mag.* del febbraio 1855 — (1).

(1) Coteste ricerche occupano buona parte del II volume, e pressochè esclusivamente il grosso III, della edizione delle *Experimental Researches in Electricity*, fatta dal Faraday medesimo perchè — come egli dice nella prefazione al primo volume, apparso a Londra, coi tipi dei Taylor, nel 1839 — fosse possibile l'acquisto ad un prezzo moderato, a coloro che desideravano vedere i di lui scritti.

Da quelle esperienze — tra altro — è risultato che l'azione del magnetismo è risentita da tutti i corpi, per alcuni — *sostanze ferromagnetiche o paramagnetiche,* secondo presentano, o no, fenomeni di isteresi — sotto forma di azione attrattiva, per altri — *sostanze diamagnetiche* — sotto quella di ripulsione; fatto cotesto della ripulsione, che, al Becquerel ed al Faraday prima, al Parker ed al Duhem poi, parve spiegabile con l'ammettere che le sostanze che lo offrono siano magnetiche esse pure, ma in grado minore che l'aria, cosicchè la loro ripulsione sarebbe analoga alla apparente ripulsione rispetto alla Terra dei corpi sommersi in un fluido meno pesante di essi.

Certo anche allo stato presente della scienza moltissimi fenomeni del magnetismo riescono molto strani. Valga d'esempio la categoria di fatti analoghi a quello del paramagnetismo di molti composti del rame, metallo che, se è puro quale lo deposita la corrente elettrica, è, invece, diamagnetico. Ma tutta la serie degli studi sul magnetismo è lì a provare la stretta connessione tra i fenomeni che esso offre e la costituzione intima dei corpi. Lo provano le ricerche recenti con cui Wleügel ed Henrichsen trovavano diamagnetici tanti liquidi organici — un centinaio — malgrado fossero di diversissima costituzione molecolare, come lo provano la vecchia osservazione — 1847 — del Matteucci su l'aumento nella intensità del magnetismo nelle calamite sottoposte dell'azione di sforzi longitudinali, o l'altra osservazione — fatta dal Villari prima che dal Kelvin — su la inversione di quell'effetto sulle sbarre fortemente magnetizzate, ed in genere le esperienze — omai innumerevoli — su l'influenza che le azioni meccaniche esercitano su l'andamento del magnetismo. Lo prova il fatto osservato da uno dei due Hopkinson che trovava praticamente non magnetico un corpo composto da due corpi magnetici — acciaio contenente nikel per un quarto del suo peso — come lo provano il crescere o l'abbassarsi della temperatura di ebollizione di un liquido omogeneo posto in un campo magnetico, secondo che il liquido è paramagnetico o diamagnetico, giusto quanto stabiliva il Du Bois, ed il magnetizzarsi a saturazione — osservato dal Beetz — con correnti debolissime, del ferro allorchè viene depositato dalla corrente elettrica; come lo provano la influenza della temperatura su la permeabilità magnetica, o quella dei campi magnetici sul potere termoelettrico — Tait — e su le mutazioni della resistenza elettrica — Kohlrausch, S. Thompson, Righi —; come lo provano i fatti dell'isteresi, od il fenomeno scoperto dell'Hall, o tutti i fenomeni ottici dei campi magnetici, dall'acquistare che fa un corpo diafano il potere rotatorio quando è posto in un campo magnetico, come scopriva il Faraday nel 1845 — diciannovesima serie delle *Ricerche*, in *Phil. Trans.* a. 1846, p. 1 — ai fatti notevolissimi scoperti dal Kerr e più di recente — 1846 — dall'olandese Zeemann (1).

(1) A chiarimento di quanto è detto sopra è necessario tenere presenti alcuni fatti. La permeabilità del ferro, nikel, cobalto e manganese cresce col crescere della temperatura fino a quella, detta *di trasformazione* — + 775° C. per il ferro dolce in un campo debole, + 785° in campo intenso, + 800° per ferro eccezionalmente dolce, + 690° per l'acciaio, + 320° per il nikel, + 1100° per il cobalto — alla quale il corpo cessa di essere ferromagnetico, e bruscamente si smagnetizza. — I fenomeni dell'isteresi presentano caratteri diversissimi secondo che avvengono in campi deboli piuttosto che in campi potenti, variabili lentamente anzi che bruscamente, su pezzi in quiete o su pezzi sottoposti a movimenti vibratorî, su pezzi incruditi o ricotti, martellati o laminati. — Il fenomeno di Hall — che Bagard recentemente provava prodursi anche nei liquidi elet-

Coteste prove di intima connessione tra i fatti del magnetismo ed elettromagnetismo da una parte, e lo stato molecolare dei corpi nonchè la distribuzione dell' etere — il trasmettitore delle vibrazioni ed ondulazioni luminose — dall'altra, congiunte a relazioni tra il potere induttivo specifico dei dielettrici trasparenti ed il loro indice di rifrazione, congiunte a relazioni importanti, che saranno esposte più avanti, tra le due velocità di propagazione della luce e delle azioni elettromagnetiche, hanno condotto a quella teoria che attribuisce a moti speciali dell' etere anche le vibrazioni elettromagnetiche; teoria, a cui portavano, negli ultimi anni del secolo, argomenti di un valore immenso le esperienze dell' Hertz, del Righi, del Tesla, delle quali si dirà dopo avere parlato della generazione industriale delle correnti.

V.

Generazione industriale e trasformazione della corrente elettrica.

La trasmissione a distanza e la distribuzione elettrica dell'energia.

Il resoconto della seduta del 22 novembre 1824 dell'Accademia di Parigi — *Ann. de Ch. et de Phys.* stesso anno, T. XXVII, p. 363 — contiene: « Il signor Arago comunica verbalmente i risultati di alcune esperienze da lui fatte su l'influenza che i metalli e molte altre sostanze esercitano su l'ago magnetizzato, e che ha per effetto di diminuire rapidamente l'ampiezza delle oscillazioni senza alterare sensibilmente la durata. Egli promette, su cotesto argomento, una Memoria particolareggiata ». Le esperienze erano state occasionate da una osservazione analoga fatta nello stesso anno dal Gambey — costruttore di bussole a Londra — sull'effetto che un disco di rame esercitava su le oscillazioni dell'ago.

trolitici — essenzialmente consiste in questo: una croce ritagliata da una lastrina metallica sottilissima — quale è, ad esempio, una foglia d'oro da doratura — sia incollata su una lastrina di vetro, e se ne facciano comunicare due bracci con un generatore costante di corrente elettrica e gli altri con i torchietti di uno squisito galvanometro: ponendo la lamina in un campo magnetico perpendicolarmente alle linee di forza, si avrà al galvanometro una deviazione persistente, indizio di una corrente pure persistente; ed il senso della corrente per l'oro, il platino, l'argento, lo stagno, il bismuto, è l'inverso di quello della forza elettromagnetica, è invece il medesimo per il ferro, l' antimonio, il cobalto, lo zinco. — Il fenomeno Kerr consiste in una rotazione del piano di polarizzazione della luce quando è riflessa da un polo magnetico; rotazione che per di più avviene in misura diversa secondo la intensità della magnetizzazione. — Quanto al fenomeno scoperto dallo Zeemann, — nel 1896, e non nel 1846, come un errore tipografico fece dire a pag. 440 — e che ha dato origine ad una vera moltitudine di studi, esso prova la influenza diretta di un campo magnetico intenso su le sorgenti di luce; influenza da cui riesce modificata la durata stessa delle vibrazioni che in esse hanno origine. Infatti una fiamma, disposta in modo da emettere solo i raggi gialli caratteristici del sodio o quelli rossi del litio — raggi, cotesti, che corrispondono ciascuno ad un numero ben determinato di vibrazioni per secondo — quando venga accesa in un campo magnetico intenso, mostra di emettere raggi dovuti anche a vibrazioni di rapidità — sia pure leggermente — diversa —. Da ultimo, relativamente ai fenomeni di polarizzazione magnetica della luce che hanno ispirato al loro scopritore esperienze e pagine tra le più suggestive uscite dalla mente e dalla penna di quel genio, diremo che grazie al Wiedemann, al Ruhmkorff, al Verdet, furono stabilite le leggi di dipendenza della rotazione elettromagnetica dalla intensità del campo e dallo spessore della lamina diafana, ai quali la rotazione stessa è proporzionale — nonchè dall'angolo formato dalla direzione del raggio luminoso con quella delle linee di forza del campo stesso —. Cogliamo poi l'opportunità per segnalare al lettore, nel vol. CLXXVI delle *Phil. Trans.*, due monografie d'interesse singolare — l'una di J. Hopkinson, l'altra dell'Ewing — su la magnetizzazione del ferro, nonchè il pregevolissimo volume dell'Ewing « *Magnetic Induction in Iron and other Metals* » pubblicato, a Londra, dalla Compagnia Editrice del *The Electrician*, e di cui già si fecero parecchie edizioni.

Invece di quella Memoria, il grande fisico francese presentava nella seduta del 7 marzo dell'anno successivo — *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1825, T. XXVIII, p. 325 — un apparecchio che mostrava « sotto una forma nuova l'azione che i corpi magnetizzati e quelli che non lo sono esercitano gli uni su gli altri ». Il verbale di quella seduta — citiamolo ancora testualmente poichè si tratta di scoperte tra le più importanti per le conseguenze scientifiche e tecniche derivatene — dice poi: « Giacchè un ago magnetico in moto è arrestato da una lamina in riposo, il signor Arago ha pensato che un ago in riposo sarebbe trascinato da una lamina in moto. Infatti ove si faccia rotare una lastra di rame, per esempio, con una velocità determinata, sotto un ago magnetizzato posto entro un vaso chiuso da tutte le parti, l'ago non si mette più nella sua posizione ordinaria; esso si arresta fuori del meridiano magnetico, e tanto più lungi da questo piano quanto più rapido è il moto di rotazione della lamina. Se esso è abbastanza veloce, l'ago, a qualunque distanza della lamina, gira esso stesso in modo continuo intorno al filo al quale è sospeso ».

Fig. 1. Fig. 2.

Due esperimenti del Faraday su l'induzione magneto-elettrica.

Riprod. delle Fig. 1 e 4 della Tav. III del vol. per il 1832 delle *Philosophical Transactions*, monogr. orig. del Faraday cit. nel testo p. 443.

Legg. espl. — Fig. 1. « Si fece un anello con una sbarra rotonda di ferro dolce, il metallo av. sette ottavi di pollice di spess., l'anello sei pollici di diam. esterno. Si avvols. int. ad una parte di cot. an. tre spirali, ciasc. conten. ventiquattro piedi circa di filo di rame dello spess. di un ventesimo di pollice: esse erano isol. dal ferro e l'una dall'altra, sovrapp. in modo da riman. — isol. — una entro l'altra, ed occupav. su l'an. una lungh. di circa nove pollici.... Si può ved. il gruppo indic. con A nella Fig. 1. Dall'altro lato dell'an. fur. appl. sessanta piedi dello stesso filo di rame, form. una spir. B av. la stessa dir. della spir. del gruppo A, ma che ne era sep. a ciasc. estr. da un mezzo poll. all'inc. di ferro scop. Con fili di rame la spir. B fu conn. con un galvanometro, lontano tre piedi dall'anello. I fili di A fur. cong. ai loro termini, in modo da form. una lunga spir. di cui i capi fur. cong. ad una pila di dieci coppie da quattro polliei quad. Il galvanometro ne fu immediatamente impressionato, ad un grado molto maggiore che quando si era usata una pila di forza decupla e spirali senza ferro. Ma quantunque il contatto continuasse, l'effetto non fu permanente, perchè l'ago venne bentosto a riprend. la sua pos. nat.... Facendo cessare il contatto con la batteria, l'ago subì di nuovo una deviaz. molto forte, ma in direz. contr. a quella osserv. al princ. dell'esp. — FÀRADAY *l. c.* § 27 e § 28, pag. 131.

Fig. 2. « Di una calamita cilindr. di tre quarti di pollice di diam. e di otto poll. e mezzo di lungh., un capo fu posto nell'asse della spirale, e, mentre l'ago del galvanom. era ancora stazionario, si introd. il magnete bruscamente: ne risultò immediatamente una deviaz. nell'ago.... Lasciando il magnete ove si trovava, l'ago riprendeva la sua posiz. primitiva; ritirandolo, l'ago deviava in senso opp. ». *Ibid.* § 39, pag. 134.

Cotesto esperimento dell'Arago veniva tosto ripetuto a Londra da Babbage ed Herschel, che ne avevano avuto notizia dal Gay Lussac — in occasione di un viaggio a Londra fatto da costui in quella stessa primavera — ed erano desiderosi di metterlo in relazione con esperimenti di deviazione dell'ago magnetico ottenuta dal Barlow facendo rotare delle masse di ferro (1) — indottovi da fatti osservati dal Christie —.

Ma ai due fisici inglesi — *Phil. Trans.* a. 1825, p. 467 a 496 — nella ripetizione della prova « per renderne più cospicuo l'effetto visibile e sbarazzarsi dei limiti posti ad esso dalla polarità dell'ago, occorse di invertire l'esperimento e determinare se un disco di rame o di altra sostanza non magnetica (nel senso ordinario della parola) non potesse venir messo in rotazione, ove fosse stato liberamente sospeso sopra un magnete rotante ». Il fatto confermò la previsione, e così si andava, per l'opera del Christie, del Barlow, dell'Arago, del Babbage e dell'Herschel, rivelando un nuovo

(1) Lettera del Barlow all'Herschel letta alla *R. Soc.* il 5 maggio 1825 e pubbl. nelle *Phil. Trans.* di quell'anno, p. 317. — Nello stesso volume — pag. 347 a 417 si trova una lunga ed interessante memoria del Christie « sul magnetismo del ferro proveniente dalla sua rotazione » nella quale sono riferite esperienze copiosissime e calcoli, miranti allo studio della questione delle origini e della distribuzione del magnetismo terrestre.

ordine di fenomeni che, con locuzione punto felice, venne denominato *magnetismo di rotazione*.

La vera natura di essi fu chiarita quando il Faraday — 1831, prima serie delle *Ricerche* più volte citate — ebbe fatto la grande scoperta della induzione magnetoelettrica e di quella elettrodinamica; scoperta da lui pubblicata con la lettura 24 novembre 1831 alla *Società Reale* di Londra (1).

Egli aveva provato — esponiamo la parte della scoperta che interessa qui, seguendo la monografia del sommo scienziato inglese — che — § 10 — una corrente elettrica al suo cominciare ed al suo finire determina in un circuito vicino una corrente, che dura però — § 12 — solo un istante; che — § 18 — movendo un circuito percorso dalla corrente elettrica in modo da avvicinarlo ad un altro o da allontanarnelo, si avevano in quest'ultimo gli stessi effetti; che sempre — §§ 11, 14, 19 — la corrente generata in una di quelle azioni era contraria di senso a quella generantesi per l'opposta, e che — § 19 — nel caso dell'avvicinamento, il senso della corrente indotta era il *contrario* di quello della induttrice, mentre nella corrente indotta dall'allontanamento era il *medesimo* (2). Inoltre — fatti non meno importanti — il Faraday scopriva che si potevano avere correnti indotte — §§ 27, 28, 34 — magnetizzando o smagnetizzando, per mezzo della corrente elettrica, un nucleo di ferro avvolto da un filo metallico a spire isolate; sia

Lenz
Dall'incisione pubbl. dalla *Imprimerie Centrale du Ministère des Finances* dell'Impero Russo.
Gentile dono di S. E. il gen. A. I. Smirnoff, presidente della Soc. Imp. Politecnica di Russia; e per cort. canc. di S. E. il principe Galitzine, Direttore dell' *Ufficio Spedizioni per la conf. delle carte di Stato.*

(1) In quale modo il Faraday fosse condotto a quella scoperta di una portata immensa, narra egli stesso — numeri 3 e 4 delle *Exper. Researches* — come segue: « Sia che si adottasse la bella teoria del Sig. Ampère od un'altra, ovvero che si facesse una qualunque restrizione mentale, pareva ancora molto strano che, come ogni corrente elettrica è accompagnata da una intensità proporzionata di azione magnetica ad angolo retto con la corrente, dei buoni conduttori dell'elettricità, posti nella sfera di cotesta azione, non dovessero indurre qualche corrente tra essi, o produrre qualche effetto sensibile equivalente in forza a tale corrente. Coteste considerazioni, e quindi la speranza di ottenere dell'elettricità dal magnetismo ordinario, mi portarono, ad epoche differenti, a sperimentare l'effetto *induttivo* delle correnti elettriche. Ultimamente sono giunto a risultati positivi, ed ho trovato, per così esprimermi, una chiave che mi è sembrata mettere intieramente allo scoperto i fenomeni magnetici del Sig. Arago, e svelare un nuovo stato che può probabilmente avere una grande influenza su alcuni dei più importanti effetti delle correnti elettriche ». Parole profetiche, le ultime, perchè solo le correnti d'induzione potevano permettere le grandi applicazioni industriali moderne della elettricità. A complemento, aggiungeremo che i primi esperimenti — infruttuosi — relativi alla induzione di correnti mediante correnti, furono fatti dal Faraday nel novembre del 1825, il 2 dicembre dello stesso anno ed il 22 aprile 1828. Quanto agli esperimenti del 1831 accennati sopra, nel testo, essi vennero eseguiti, il primo il 29 agosto, l'altro il 24 settembre. Vegg. diario del Faraday in *Life and Letters of Faraday* del Dr. Bence Jones, Vol. II; citaz. del Fleming nell'op. *The Alternate Current Transformer in Theorie and Practice.* Londra, 1900, « *The Electrician* » *printing and publishing Co.*

(2) Il Faraday volle anche vedere — § 24 — se si avessero « i medesimi effetti anche impiegando i fili conducenti l'elettricità ordinaria »: si valse a ciò della scarica di una bottiglia di Leida. I risultati però gli parvero dubbi. Il fatto venne, invece, accertato dal Masson — *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1840, T. LXXIV, p. 159, in nota — e, indipendentemente, dall'Aimé, dall'Henry, dal Riess, dal Marianini; lo studiarono poi il Dove, il Matteucci, il Knochenhauer, il Verdet, ancora il Masson, ed altri.

— §§ 36, 37, 38, 39, 40 — usando magneti ordinari tanto per magnetizzare o smagnetizzare — coll' avvicinarli od allontanarli — una sbarra di ferro posta entro l'elica di filo di rame comunicante col galvanometro, sia coll'introdurli nell'elica stessa od estrarneli. Trovava inoltre — seconda serie, *Phil. Trans.* a. 1832, p. 163 e 164 — che si potevano produrre correnti indotte mediante l'azione della terra, e ciò « ad un grado da potere valersene con profitto nella costruzione di nuove macchine elettriche »: nonchè, qualche anno dopo — nona serie delle *Exp. Res.*, comunicata alla *R. Soc.* il 18 dic. 1834, letta il 29 gennaio 1835 — « un'altra notevolissima azione induttiva della corrente elettrica, o delle diverse parti della medesima corrente », cioè quell'induzione di una corrente su lo stesso suo circuito — allorquando la corrente stessa comincia, o varia comunque, o finisce — che prese il nome di *autoinduzione* o *selfinduzione*, e che ha tanta importanza anche tecnica ed economica nel funzionamento delle macchine ed apparecchi impiegati dalla scienza e dalla industria, obbligando a disposizioni speciali e riducendo rendimento di macchine e profitto di capitali impiegati nelle industrie elettriche (1).

La prima macchina magneto-elettrica che abbia funzionato. Macchina dei Pixii.
Ripr. della Fig. 55, pag. 188, Vol. II dell' op. del Du Moncel *Exposé des Applic. de l'Électr.*
Legg. espl. — *CD* potente magnete girev. in acciaio; *AB* rocchetti da elettro calam.; *XX* capi del filo di *AB* in cui la rotaz. di *CD* induce le correnti. — N. B. Il modello originario aveva movim. a pedale, come si rileva dalla seconda com. dell'Hachette. cit. nel testo, pag. 449.

Così dalla investigazione del Faraday tutti erano scoperti i multiformi fenomeni fondamentali dell'induzione elettrodinamica ed elettromagnetica; quei fenomeni che dovevano essere tra i fattori precipui di una rapida evoluzione, da cui venivano mutati radicalmente indirizzo e condizioni di tanta parte della vita intellettuale e morale, delle industrie, della economia.

Al nome del Faraday, però, un altro si deve accoppiare: quello dell'americano Henry, di cui già si parlò — p. 437 — a proposito dell'elettrocalamita. Indipendentemente dal Faraday, egli scopriva infatti i fenomeni dell'induzione elettromagnetica ed elettrodinamica. Egli — allora « giovane filosofo di grande potenza di mente, ma assai scarso di mezzi di indagine (2) » — aveva costrutto, verso il 1829 o 1830, un elettromagnete

(1) L'origine di quelle importantissime ricerche è così narrata — § 1049, 1050, 1051 — dal Faraday: « La ricerca fu causata dal seguente fatto comunicatomi da M. Jenkin. Ove, come mezzo di collegamento di un elettromotore costituito da una sola coppia di metalli venga usato un filo ordinario di breve lunghezza non sarà possibile allo sperimentatore di ottenere una commozione da cotesto filo: ma quando si adoperi il filo avvolgente un elettromagnete, si prova una commozione ogni volta che s'interrompe il contatto con l'elettromotore, purchè i capi del filo siano tenuti uno per ciascuna mano. Un altro effetto, poi, si osserva al medesimo tempo — effetto noto da un pezzo ai filosofi — e precisamente che al posto ove si interrompe il circuito si produce una splendente scintilla elettrica. Una breve relazione di cotesti risultati, con alcune caratteristiche corrispondenti da me osservate usando lunghi fili, fu pubblicata nel *Philosophical Magazine* del 1834, vol. V, pp. 349, 444: ad essa aggiunsi alcune osservazioni su la loro natura. Investigazioni successive mi condussero ad accorgermi della inesatezza delle mie prime idee e finirono con la identificazione di cotesti effetti con i fenomeni dell'induzione che fui tanto fortunato di sviluppare nella prima serie di queste Ricerche sperimentali. Malgrado cotesta identità, la estensione e la singolarità delle vedute fornite dai risultati relativamente alle correnti elettriche, mi lasciano sperare che saranno trovati meritevoli dell'attenzione della Società Reale ».

(2) J. A. Fleming. *The alternate Current Transformer in Theorie and Practice*, Londra, 1900, « *The Electrician* » *printing and publishing Co*

capace di portare intorno a 700 libbre, e guidato, a quanto sembra, dall'idea che, come una corrente elettrica può produrre il magnetismo, così il magnetismo deve poter produrre la corrente elettrica, fece l'esperimento della corrente indotta dalla chiusura del circuito, in un filo avvolto a quel potente elettromagnete e connesso ad un galvanometro lontano, nonchè altri esperimenti nello stesso ordine di fenomeni. « Da cotesti fatti » scriveva il grande scienziato americano « appare che una corrente di elettricità si produce per un istante in un'elica di filo di rame avvolgente un pezzo di ferro dolce, ogni qualvolta s'induce del magnetismo nel ferro, ed una corrente in direzione opposta quando il magnetismo cessa; così pure che una corrente istantanea nell'una o nell'altra direzione accompagna qualsiasi mutazione nella intensità magnetica del ferro ». Ciò avveniva, pare, nell'agosto 1831; certo prima che egli arrivasse a cognizione dei lavori del Faraday, dei quali ebbe notizia nell'aprile del 1832. Egli scopriva pure l'induzione di una corrente su di un altro circuito — usando spirali piatte nelle esperienze relative — nonchè l'autoinduzione, e nel 1838 le correnti indotte dalle correnti d'induzione (1).

La macchina di Werner Siemens con l'indotto a nucleo a doppio T.

Ripr. delle Fig. 4 e 5: Tav. II *Ann.* del *Pogg.* vol. cit. nel testo a pag. 450, monog. orig. del Siemens ivi citata.

Legg. espl. — Nella fig. 4: FGF' sez. del ferro a doppio T intorno al quale è avvolto longitudinalm. il filo indotto H, H — come si vede bene nella fig. 5 —. L'armatura risultante ruota tra i poli C e D di una successione di calamite come CABD; successione che si vede bene, *in pianta*, nella fig 5.

A cagione di tutte coteste indagini, e per quanto ad esse si riferisce, Giuseppe Henry merita dunque d'essere messo al fianco di Michele Faraday.

Su le correnti indotte, poi, oltre all'Hipp ed al Weber, al Beetz ed al Thalen, al Dubois Reymond ed all'Edlund, all'Helmholtz ed al Kelvin, davano leggi, molto dopo la scoperta, e portavano contributo capitale di fatti un fisico italiano che per lunghi anni fu onore dell'Ateneo Pisano ed alla cui scuola si formò più d'uno tra i fisici maggiori del nostro paese — diciamo: Riccardo Felici (2) — ed un altro grande

(1) La serie completa dei lavori dell'Henry anche nel campo delle correnti indotte si trova nella collezione *Scientific Writings of Joseph Henry,* ristampa fatta dall'Istituto Smithsoniano. Una parte di essi si trova pure nelle *Transactions of the American Philosophical Society,* Vol. VI, 1838, pag. 303 a 337, e nel *Philosophical Magazine,* Vol. XVI della terza serie, a. 1840. — V. *Fleming, op. cit.*, p. 207.

(2) I molti ed importanti lavori dell'insigne fisico si trovano per esteso, od in riassunti fatti da lui stesso, nelle seguenti pubblicazioni: *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1852, T. XXXIV, p. 64 a 77; *Annali dell' Università della Toscana* a. 1853; *Ann. de Ch. et de Phys.* a. 1853, T. XXXIX p. 222 a 224 ed a. 1855, T. XLIV, p. 343 a 346; *Nuovo Cimento,* T. I, a. 1855, p. 325, e T. III, a. 1856, p. 198 e 208; *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1859, T. LVI, p. 106. Tra le leggi da lui dimostrate ricordiamo quella che « la forza delle correnti indotte aprendo o chiudendo il circuito voltaico è semplicemente proporzionale a quella delle correnti induttrici »; l'altra che « la somma A di tutte le correnti indotte su un circuito conduttore da un circuito voltaico chiuso ed in movimento, durante il passaggio di quest' ultimo da una posizione in cui non potrebbe produrre — nè ove fosse aperto, nè ove fosse chiuso — veruna corrente indotta sul primo circuito, ad un' altra posizione qualsiasi, è uguale alla corrente B che si può ottenere con l'aprire o chiudere lo stesso circuito induttore posto esattamente nell' ultima posizione » cosicchè la corrente indotta dal moto di un circuito è sempre la differenza delle correnti indotte che si ottengono aprendo o chiudendo il circuito inducente nelle due posizioni estreme da esso occupate, qualunque sia il modo con cui si effettua il passaggio da una posizione all' altra. Inoltre il Felici estese alle correnti d'induzione il teorema dell' Ampère sul conduttore sinuoso, da noi ricordato a p. 436, nota 1.ª, num. 4.

fisico, pure italiano, Pietro Blaserna (1); mentre poco dopo la loro scoperta aveva formulato una regola — importante assai dal punto di vista filosofico, e che per ciò, e per la notorietà, richiede una parola speciale — per assegnarne il senso, uno tra i più eminenti scienziati russi del secolo XIX, Emilio Lenz, fisico che toccò punti disparatissimi, come provano lo studio — 1832 — sulla salsedine delle acque dell'oceano e le belle memorie — *Mém de l'Ac. Imp. de Sc. d. S^t. Petersb., Sc. Math., Phys. et Nat.*, VI Serie, Tomo II, pag. 631, T. III, pag. 187 e 439 — lette all'Accademia di Pietroburgo il 7 giugno 1833 su la conduttività dei metalli a diverse temperature, il 28 novembre 1834 su la conduttività per la elettricità di fili di varia lunghezza e diametro e l'8 aprile 1836 su la conduttività dell'oro, del piombo, dello zinco; ovvero gli studî su la altezza barometrica e le livellazioni barometriche fatte nel Caucaso, e la Memoria 7 novembre 1832 — *Mém.* di Pietroburgo, T. II., citato, pag. 427 — intorno all'azione esercitata da un magnete su una spirale quando si producono spostamenti rapidi e su la costruzione più vantaggiosa delle spirali a scopo elettromagnetico; ovvero appunto la sua classica memoria « Su la direzione delle correnti galvaniche eccitate mediante l'induzione elettro-dinamica », da lui letta all'Accademia di Pietroburgo il 29 novembre 1833 e pubblicata tosto — a. 1834, Vol. XXXI, pag. 483 a 494 — negli *Ann. der Phys. u. Kemie* del Poggendorff.

Pacinotti.
Da fotografia.

Quella celebre regola — o legge, come, con locuzione poco propria, venne comunemente designata — dice — la traduciamo testualmente — che « quando un conduttore metallico si muove in vicinanza di una corrente galvanica o di un magnete, si suscita in esso una corrente elettrica di senso tale che — ove il conduttore fosse in quiete e suscettibile solo di moto nella direzione del movimento o nell'opposta — produrrebbe in esso conduttore un moto precisamente opposto a quello che invece gli viene impresso » — *l. c.* pag. 485 —.

(2) Il Blaserna esordiva nel 1858, a Vienna, ove si trovava quale assistente all'Imperiale Regio Istituto Fisico, con importanti comunicazioni a quell'Accademia delle Scienze — « *Ueb. den inducirten Strom der Nebenbatterie* », in *Sitzungsberichte* T. XXXIII, a. 1858, p. 25 a 68, e XXXVI, a. 1859, p. 209 a 216 —; e pure a Vienna compiva col Mach e col Peterin, allievi dell'Istituto Fisico, l'altro importante lavoro su la scintilla e l'induzione elettrica — *Sitz.*, a. 1859, T. XXXVII, p. 477 a 524 —. Venuto in Italia, mentre lasciava l'orma del suo ingegno anche in altre branche della fisica, si dedicava più attivamente allo studio delle correnti nello stato variabile — *C. R. de l'Ac. d. Sc.* T. LXX, a. 1870, p. 154 a 158, T. LXXVII, a. 1873, p. 1241 a 1244, e T. LXXVIII, a. 1871, p. 346 a 349 — e delle correnti indotte, su le quali dava lavori classici. Vegg ansi le memorie su la loro formazione e durata — *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, T. LXIX, a. 1869, p 132 a 134 e 1296 a 1300 — su l'andamento delle correnti indotte e delle estracorrenti o correnti di autoinduzione — *Ann. de Ch., et de Phys*, a. 1871, T. XXII, p. 500 a 508 — sullo sviluppo e la durata delle correnti d'induzione delle estracorrenti — pubbl. in *Giornale di Scienze nat. ed econ.*, Vol. VI, Palermo, 1870, e riass., sotto la sorveglianza dell'illustre Autore, dal dott. Damiano Maccaluso in *Nuovo Cimento*, T. III della II serie, a. 1870 p. 387 a 427 — nonchè la nota su lo « sviluppo, andamento e durata dell'estracorrente », pubbl. nel volume giubilare — 1874 — degli Annali del Poggendorff. Sul valore degli studi del Blaserna ci piace ricordare come la *Soc. It. delle Sc.* — Mem., T. II, a. 1876, p. VIII a X — per voto dell'illustre Matteucci che ne era presidente, accordasse al fisico italiano un largo sussidio — 1200 lire — per la costruzione dell'ingegnoso apparecchio ch'egli aveva ideato appunto per quegli studi.

Con essa, malgrado che l'enunciato prestasse il fianco a qualche discussione ed appunto — ne mossero il Felici ed altri fisici — le correnti d'induzione venivano ad essere poste chiaramente nella luce in cui aveva mostrato il Faraday — *Nona serie*, § 1077 — di averle vedute: esse apparivano nettamente un effetto di reazione della materia *inerte*, contro le azioni modificatrici che si producono nei vari metodi per suscitarle. Concetto, cotesto, che nello stato presente della scienza è ben familiare, ma di cui — dato che si trattava di un ordine affatto nuovo di fenomeni — la visione doveva essere tutt'altro che facile ad un'epoca nella quale la termodinamica era alle origini; concetto, che vale a spiegare tutti i fatti del magnetismo di rotazione e le bellissime esperienze del Matteucci — da lui riassunte in *Ann. de Ch. et de Phys.* anno 1853, T. XXXIX, pag. 129 a 139, prima ancora che fossero pubblicate *in extenso* negli *Annali dell' Università della Toscana* — come il riscaldarsi fortemente — su cui ritorneremo più avanti — e l'arrestarsi brusco, o l'esigere un grandissimo sforzo per essere mantenuto in moto — esperimento celebre del Foucault, *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1855, T. XLV, pag. 317 — del toro di bronzo ruotante rapidissimamente tra i poli di un elettrocalamita potente; concetto, infine, di importanza capitale, perchè in esso è la spiegazione della meravigliosa trasformazione dell'energia meccanica — del vapore, dell'acqua cadente, o di qualsiasi altra sorgente — in energia elettrica, quale abbiamo nella *dinamo* (1), in una maniera tanto semplice, col solo far rotare dei fili o delle sbarre di rame — opportunamente collegate — in un campo magnetico. —

… mezzanotte stavo seduto
sopra un ciglio vicino ai fasci d'armi a Goito
in una notte presso il 5 e il 6 Luglio 1859
pensai alla convenienza dei denti del nucleo di ferro
fra i rocchetti dell'anello, nella notte stessa
non avemmo battaglia, ma soltanto avemmo un
falso allarme. Accennai a codeste circostanze
in una relazione con la quale nel settembre 1884
presentai ai Sig.ri Giurati della Esposizione di Torino
gli originari appunti delle prime idee e delle prime
prove dell'anello elettromagnetico; e tali appunti…

Affezionato Amico
Antonio Pacinotti

Fac-simile di aut. del Pacinotti, relativo alla sua grande invenzione.
Da autogr. poss. dall'a.

(1) Il lettore, che voglia comprendere come — spendendo dell'energia meccanica — si possa averne, mediante la dinamo, energia elettrica, vi giungerà, ove tenga presenti i seguenti principî, tutti confermati dalla esperienza: — I. Una calamita esercita intorno a se un'azione — di cui ignoriamo la intima natura, ma che non perciò è meno certa, dacchè tutte le sostanze, o come magnetiche o come diamagnetiche, giusta quanto si disse a pag. 440 possono venire mosse da essa. — Si esprime il fatto dicendo che intorno alla calamita si ha del *flusso di forza;* e si rendono sensibili le *linee di forza* — ossia le linee secondo cui si trasmettono le azioni magnetiche — col collocare sopra una calamita un cartoncino e lasciare che cada su questo della limatura di ferro; essa si dispone secondo linee uscenti da uno dei poli e terminanti nell'altro. Il flusso di forza ha intensità differente nelle diverse regioni del *campo magnetico* — o spazio in cui l'azione della calamita si manifesta. — II. Quando lungo un conduttore si propaga una corrente elettrica, intorno ad esso si sviluppa dal flusso magnetico. Se ne possono vedere le linee di forza — che sono circolari, hanno il centro su l'asse del conduttore, e sono in piani perpendicolari al conduttore stesso — col fare che questo attraversi, in direzione verticale, un cartoncino tenuto orizzontalmente, e lasciando cadere sul cartoncino stesso della limatura di ferro: questa si dispone appunto secondo circonferenze aventi il centro nell'asse del filo. Quindi, chi dice corrente elettrica, dice — per cotesto rispetto — campo magnetico di una direzione determinata — III. Ammesso — come, per convenzione, si ritiene — che il flusso di un magnete sia diretto — esternamente al magnete stesso — dal polo nord di esso al suo polo sud, si può dedurre, con l'esperienza, che quello

Di cotesta trasformazione e della sua storia dobbiamo ora parlare, cominciando dal notare che la *macchina dinamoelettrica* è macchina tutta moderna; essa è il frutto della evoluzione di un'altra macchina, la *magnetoelettrica* — vivente ancora in esemplari di dimensioni modestissime, quali si riscontrano in certi apparecchi elettro-medicali, od in quelle dei posti microtelefonici che, girando una manovella, facciamo agire per la chiamata —.

Della macchina magnetoelettrica l'idea era venuta al Faraday. « Avendo ottenuto dell'elettricità dai magneti » scriveva egli — § 83 delle *Exp. Res.* — « sperai trovare nelle esperienze del signor Arago una sorgente nuova di elettricità, e non ritenni impossibile, col mezzo dell'induzione terrestre magneto-elettrica, di giungere a costruire una nuova macchina elettrica. Animato da questo pensiero, feci numerose esperienze col magnete della Società Reale, nella casa del sig. Christie... ». E di prove fatte per conseguire quello scopo parla anche altrove: anzi nelle stesse *Ricerche Sperimentali* — §§ 85, 135, 155, 158, 219, 220, 222, 3192 — egli descrive ben otto tipi che si possono dire di macchine magnetoelettriche.

Un'altra di coteste macchine veniva descritta — poco dopo la pubblicazione delle prime sette del Faraday — in una lettera — firmata con le iniziali *P. M.* e diretta al Faraday stesso il 26 luglio 1832 — pubblicata nel *Philosophical Magazine* del 2 agosto successivo. Quella macchina, formata da sei magneti a ferro di cavallo — fissati in un disco girevole, di legno, perpendicolarmente al disco stesso, coi poli in direzione radiale ed alternati giro giro quanto al nome — e da sei armature di ferro dolce avviluppate ciascuna da un rocchetto di filo — fisse e così disposte che, ruotando il disco, ogni magnete veniva a passare davanti a tutte — quella macchina, diciamo, non fu mai mostrata al pubblico.

Pure nel luglio del medesimo anno il *Philosophical Magazine* pubblicava la descrizione di una macchina del Dal Negro di Padova, ed il 3 settembre

che *turbina* intorno ad un conduttore percorso da una corrente elettrica deve ritenersi diretto nel senso della rotazione delle lancette di un orologio infilato sul conduttore con la mostra rivolta in modo che la corrente entrasse per essa ed uscisse per il fondo. — IV. Tra due corpi avviluppati da flusso di forza — calamite, conduttori percorsi da correnti, ecc. — messi a fianco uno dall'altro si esercita un'azione reciproca, che è attrattiva o ripulsiva, secondo che i due corpi sono disposti in modo che, nello spazio intermedio ad essi, i rispettivi flussi siano di senso contrario o del medesimo senso — calamite aventi i poli opposti dalla medesima banda o conduttori paralleli percorsi da correnti dirette nello stesso senso, per il primo caso; calamite aventi dalla medesima banda i poli del medesimo nome, e conduttori percorsi da correnti contrarie, nel secondo. — V. Il prodursi od il cessare, il crescere d'intensità od il diminuirne, del flusso di forza in un dato spazio deve esercitare (I) una azione perturbante quello spazio e la materia posta in esso. — VI. Siccome ad ogni azione che venga esercitata su la materia, questa, per la *inerzia* — tendenza a conservare invariato il proprio modo di essere — oppone una reazione — uguale all'azione ed opposta ad essa — così, ove intorno ad una massa metallica si faccia variare comunque il flusso di forza, si susciterà nella massa stessa una reazione: questa, dovendo essere uguale ed opposta all' azione, consisterà necessariamente nel generarsi di un campo magnetico atto a produrre l'effetto opposto all'azione. — VII. Il cominciare, il crescere, l' avvicinarsi, ovvero il cessare, il diminuire, l'allontanarsi, di una corrente elettrica sono (II) cominciare, crescere, avvicinarsi, ovvero cessare, diminuire, allontanarsi, di un campo magnetico. Se ciò avvenga nella vicinanza di una massa metallica, la reazione di questa dovrà manifestarsi con un campo magnetico che tenda ad opporsi all'azione: la massa sarà perciò percorsa da una corrente atta a creare cotesto campo di reazione — *corrente indotta*, o d'*induzione* — la quale nei primi tre casi sarà di senso opposto alla corrente induttrice, sarà del medesimo negli altri. — VIII. Facendo variare comunque il flusso di forza intorno ad una massa metallica col provocare il moto relativo di essa e di un campo magnetico, nella massa si susciterà per reazione una corrente elettrica, il cui campo tenderà a produrre il moto opposto: volendosi che il movimento continui, occorrerà vincere cotesta reazione; si spenderà quindi dell'energia meccanica, e se ne avrà in corrispettivo l'energia della corrente elettrica. Così avviene nella dinamo la trasformazione dell'una energia nell'altra.

successivo, l'Hachette comunicava all'Accademia di Parigi — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1832, T. L, p. 322 — che « i figli del Signor Pixii, ingegnere, avevano costruito un apparecchio che dava una successione continua di scintille elettriche mediante un magnete mobile »: l'8 ottobre dello stesso anno, poi, il medesimo scienziato — stessi Annali, a. 1832, T. LI, p. 72 — notificava all'Accademia di Parigi che, secondo le vedute del Faraday, si era potuto con la macchina Pixii decomporre l'acqua. Quella macchina, poichè nell'inverno successivo aveva l'onore di funzionare al corso dell'Ampère alla Sorbona, può considerarsi come la prima macchina magnetoelettrica che abbia realmente operato e servito.

Essa fu seguita a breve distanza da quelle del Ritchie — presentata alla *R. Soc.* di Londra il 20 marzo 1833 — e dell'americano Saxton — esposta nel giugno 1833 alla riunione della *British Association* a Cambridge, ma di cui la descrizione fu pubbli-

Fig. 1. Fig. 2.

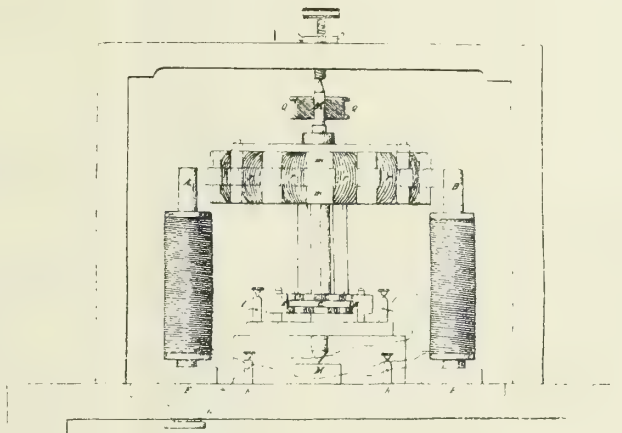
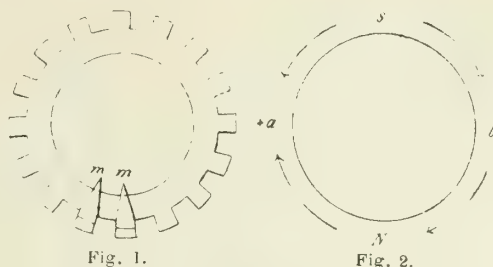



Fig. 3.

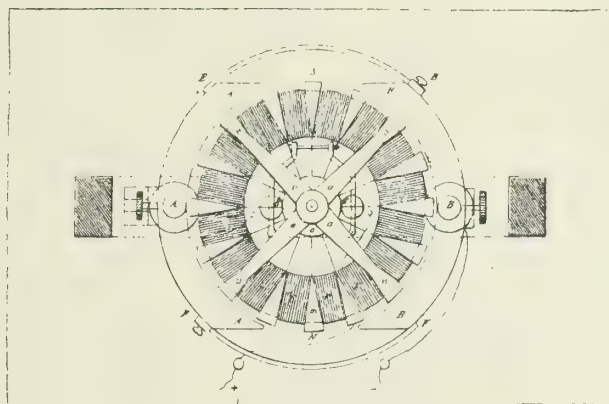



Fig. 4.

La « Macchinetta elettro-magnetica » del Pacinotti.

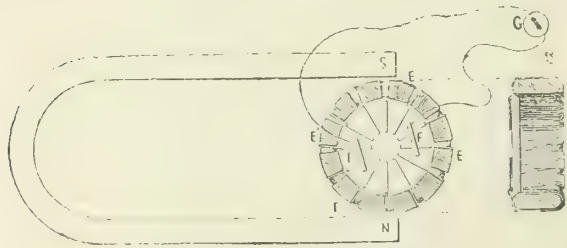
Ripr. della Tav. che accomp. la monog. orig. del Pacinotti, cit. a p. 453.

Legg. espl. — « ... presi un anello di ferro tornito, avente a guisa di rota 16 denti uguali, come sono accennati nella figura 1.ª (*Tav. IV*). Questo anello è sostenuto da quattro raggi d'ottone *aaaa* (Fig. 4) che lo uniscono all'asse della macchina. Tra dente e dente dei piccoli prismi triangolari *m* (Fig. 1 e 4) di legno lasciano dei solchi incavati, entro i quali avvolgendo del filo di rame coperto di seta son venuto ad ottenere fra dente e dente di questa ruota di ferro tante eliche o gomitoli elettrodinamici bene isolati. In tutti questi rocchetti alcuni dei quali sono accennati con *r* (Fig. 3 e 4) il filo è avvolto nel medesimo verso ed ognuno di essi resulta di 9 spire. Due rocchetti qualunque consecutivi come i due *rr'* son fra loro separati da un dente di ferro della ruota e dal pezzetto o prisma triangolare di legno *mm* (Fig. 1. 3, 4). Passando da un rocchetto a costruire il successivo ho lasciato libero un fiocco o staffa di filo di rame fissandolo al pezzo di legno *m*, che separa i due rocchetti. Sull'asse MM (Fig. 3) ove è annessa la rota così costruita, ho portato tutti i fiocchi che costituiscono con un capo il filo di un rocchetto e coll'altro il principio del successivo facendoli passare per convenienti fori praticati in un collare di legno centrato sull'asse medesimo, e quindi attaccando ciascuno al commutatore *c* (Fig. 3) pure centrato sul medesimo asse. Questo commutatore consiste in un basso cilindretto di bossolo con due ranghi di incavi attorno alle estremità della superficie cilindrica nei quali sono incastrati 16 pezzetti di ottone, otto al di sopra ed altrettanti al di sotto; i primi alternati con i secondi, tutti concentrici al cilindro di legno, un poco sporgenti e tramezzati dal legno. Nella figura *c* del commutatore i pezzetti d'ottone sono accennati dagli spazi oscuri. Ciascuno di questi pezzetti di ottone è saldato col corrispondente fiocco congiuntivo fra due rocchetti. Sicchè tutti i rocchetti comunicano fra loro, ciascuno essendo unito al successivo da un conduttore del quale fa parte uno dei pezzetti d'ottone del commutatore, e quindi mettendo in comunicazione con i poli di una pila due di questi per mezzo di due rotelle metalliche *kk* (Fig. 3 e 4), la corrente bipartendosi percorrerà l'elica sovra un lato e sull'altro dei punti d'onde partono i fiocchi uniti ai due pezzetti comunicanti, ed i poli magnetici compariranno nel ferro del cerchio in N, S. Sopra tali poli N, S agiscono i poli di una elettro-calamita fissa A B, e determinano la rotazione della elettro-calamita trasversale attorno al suo asse MM giacchè in essa, anche quando è in movimento, i poli si producon sempre nelle solite posizioni N S... La corrente della pila entrando dal reoforo *h* passa per un filo metallico alla comunicazione *l* e da quella alla rotella *k*, circola tutti i rocchetti della ruota e ritorna per la comunicazione *l'* che la fa per altro filo di rame passare all'elica che fascia il cilindro A. Da questa riescendo passa all'elica del cilindro B e si riporta per altro filo di rame al secondo reoforo *h'*. Ho trovato molto vantaggioso l'aggiungere ai due poli della elettro-calamita fissa due armature di ferro AAA, BBB dolce delle quali ciascuna abbraccia per più di un terzo di cerchio la ruota che costituisce la elettro-calamita trasversale.... Mi sembra che possa crescere il pregio in questo modello il poter ridurre con facilità la macchina da una elettro-magnetica ad una magneto-elettrica con corrente continua. Quando in luogo della elettro-calamita AB (Fig. 3, 4) vi fosse una calamita permanente e si facesse girare la elettro-calamita trasversale, si avrebbe infatti una macchina magneto-elettrica con corrente continua....». PACINOTTI, monog. orig.

cata solo nel *Phil. Mag.* del novembre 1836 —; a qualche maggiore distanza da quella del Watkins — *Phil. Mag.*. 1835 —, del Pohl — 1835, *Pogg. Ann.*, T. XXXIV — e del Clarke — *Phil. Mag.* dell'ottobre 1836 — a cui il Dove — 1842, *Pogg. Ann.* T. LVI, pag. 251 a 268 « *Ueb. den Gegenstrom (Extra-current) zu Anfgang und zu Ende eines primären* », dai *Monatsber.* dell'Acc. di Berlino, aprile dello stesso anno — aggiungeva il *commutatore*, destinato ad ottenere che le correnti indotte, generantisi alternativamente in sensi opposti, percorressero invece il *circuito esterno* alla macchina nel medesimo senso, come già — in modo molto meno semplice — con la sua *bascule* aveva fatto subito l'Ampère delle correnti generate dalla macchina dei figli dell'ingegnere Pixii.

A quelle prime, in Europa ed in America, ne tennero dietro altre — Page, Wheatstone, Pulvermacher, Ettingshausen, Jacobi, Sthorer, Nollet, Shephard, Van Malderen, Holmes —.

Tra esse meritano d'essere segnalate quella dell'Holmes — con cui, nel 1857, per sollecitazione e sotto la sorveglianza del Faraday, veniva fatta, a Blackwall sul Tamigi, ad oriente di Londra, la prima applicazione della luce elettrica alla illuminazione dei fari — e — primo tentativo di costruzione di una macchina magnetoelettrica destinata a produzione industriale della elettricità — rimasta celebre, sotto il nome di macchina dell'*Alliance* — dal nome della Compagnia formatasi per applicarla industrialmente — quella ingegnosa riunione di una vera moltitudine di macchine Clarke, la quale — originata da idee dell'ingegnere Nollet, insegnante di fisica alla Scuola militare di Bruxelles; idee realizzate una diecina di anni dopo, cioè verso la fine del 1859, dal Van Malderen — era stata costruita per estrarre elettricamente, dall'acqua, dell'idrogeno da carburare a scopo d'illuminazione, e serviva invece — 1863 — alla illuminazione, per il faro di Cap de la Hève presso l'Havre.

In tutte quelle macchine, con commutatore o senza, si avevano i magneti a ferro di cavallo ed i rocchetti a nucleo di ferro di quella dei Pixii: la studio dei costruttori aveva mirato a che, da una parte, fosse aumentata la potenza della macchina, e, dall'altra, venisse ridotto al minimo il peso delle parti mobili: coteste, perciò — anzichè dai magneti, come nella macchina dei Pixii — erano costituite appunto dai rocchetti — secondo la disposizione che era stata adottata subito dal Ritchie, dal Saxton, dal Clarke.

La prima macchina del Gramme.
Ripr. della fig. a pag. 176 del T. LXXIII, a. 1871, dei *Comptes Rendus de l'Ac. d. Sc.*, monog. orig. del Gramme « *Sur une macch. magnéto-électrique produisant des courants continus* ».

Una innovazione molto geniale portava nel 1856 — « *Ueb. eine neue Construct. magnetoelektrischer Masch.* », *Pogg. Ann.*, a. 1857, T. CI, p. 271 a 274 — Werner Siemens — rendendo pratica una idea già attuata, per vero dire, nel 1838 dallo Sturgeon — con la invenzione *dell'indotto a doppio T* — od *à navette*, come lo chiamano i francesi — nel quale il filo era avvolto per il lungo entro due scanalalature praticate nei fianchi del nucleo di ferro, con

che l'armatura poteva essere collocata senz' altro tra i poli del magnete, e l'azione induttrice di questo veniva ad essere enormemente accresciuta.

Ed intanto altre idee molto importanti si erano andate facendo strada. Una — l'avevano brevettata nel 1841 il Wheatstone ed il Cooke — quella di usare — come induttori — delle elettrocalamite invece che dei magneti permanenti; altre quelle dell'inglese Brett — brevetto inglese N. 12054 del 1848 — e dello svedese Sinsteden — *Pogg. Ann.*, anno 1851, T. LXXXIV, p. 186 — — di far passare la corrente stessa fornita dalla macchina in rocchetti di filo avvolti ai poli del magnete, per rendere maggiore la potenza di questo, e quella del danese Hjorth, che nel 1855 brevettava una disposizione nella quale erano un magnete permanente destinato a produrre una corrente iniziale e dei potenti elettromagneti alimentati dalla corrente stessa fornita dalla macchina.

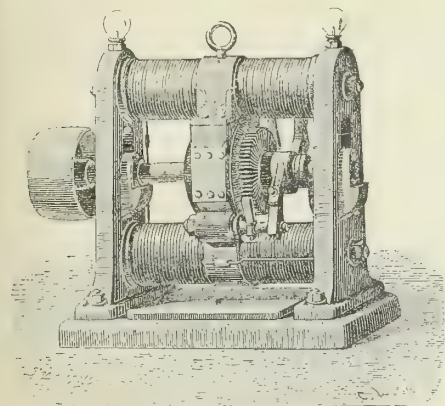



Fig. 1.

Fig. 2.

A queste idee in parte s'informava il Wilde di Manchester — 1863 — nella sua famosa macchina, in cui la corrente fornita da un piccolo indotto Siemens girante tra i poli di un magnete permanente, era impiegata ad eccitare una potente elettrocalamita, tra i poli della quale rotava l'indotto — pure alla Siemens — destinato a fornire la corrente principale. Ma esse trovavano applicazione più diretta nelle macchine dei due Varley, del Murray, del Farmer, del Baker — tutte del 1866, e tutte ad elettrocalamite —; sopra tutto la trovavano nella macchina che Werner Siemens presentava all'Accademia di Berlino il 17 gennaio 1867 — destinata a generare corrente elettrica « mediante applicazione di lavoro meccanico »; nella quale le correnti erano indotte, nell'avvolgimento di un'armatura mobile, per l'azione di elettromagneti eccitati essi stessi dalle correnti così generate; e per la quale, quindi, non occorreva che una piccola quantità di magnetismo iniziale, come poteva essere eccitato con la circolazione momentanea di una pila qualunque. — Quella macchina fu dal Siemens chiamata *dinamo-elettrica*, nome rimasto poi ad indicare sia quelle *autoeccitatrici*, sia quelle *ad eccitazione indipendente* — ottenuta cioè con corrente fornita da

Fig. 3.
L'evoluzione nella forma della dinamo bipolare.

Legg. espl. — Fig. 1. Dinamo Gramme, tipo primitivo. — Fig. 2. Dinamo Edison. — Fig. 3. Dinamo Cabella, *tipo superiore*, così detto per la posizione dell'indotto, inversa di quella adottata nella macchina Edison.

altra sorgente, quale potrebbe essere una batteria di accumulatori, o, meglio e come avviene quasi esclusivamente nella pratica, un'altra dinamo.

« Lo stesso giorno » nota Silvanus Thompson (1) « in cui la invenzione del Siemens fu annunciata alla Società Reale di Londra, il 14 febbraio 1867, Sir C. Wheatstone faceva una comunicazione, nella quale sviluppava un'idea pressochè identica; ma con cotesta differenza, che in luogo di porre gl'induttori nel circuito principale, in serie su le bobine dell'indotto, come l'indicava Siemens, Wheatstone proponeva di collegarli in derivazione (2). Una macchina auto-eccitatrice senza magneti permanenti era stata in realtà, costruita per Wheatstone dal Sig. Stroh durante l'estate del 1866 ».

Quelle dinamo del Siemens e del Wheatstone sono ora oggetti da museo. Ma il concetto — di cui la priorità costituisce merito del Brett, del Sinsteden e dello Hjorth — è rimasto, come sono rimasti i due modi di eccitazione — detto *in serie* il primo, *in derivazione* il secondo —, a cui esigenze tecniche — manifestatesi più tardi per la regolazione della dinamo nelle distribuzioni dell'energia — fecero si aggiungesse in progresso di tempo quello *compound*, combinazione dei due — descritta da Sinsteden nel 1871, rivendicata da S. A. Varley nel 1876 come portata dal suo brevetto inglese N. 4905 del 1876, usata industrialmente la prima volta dal Brush nel 1878 — nella quale le elettrocalamite induttrici hanno due avvolgimenti distinti, percorsi l'uno, a molte spire di filo sottile, da una derivazione della corrente, l'altro, a poche di filo grosso, dalla corrente intera prima che se ne distragga la parte per l'avvolgimento in derivazione — *eccitazione compound a lunga derivazione* — ovvero — *eccitazione compound a corta derivazione* — dalla corrente quale si porta al circuito esterno e che è la differenza tra la *corrente totale* fornita dall'indotto e quella appunto derivata per l'avvolgimento a filo sottile degli elettromagneti induttori.

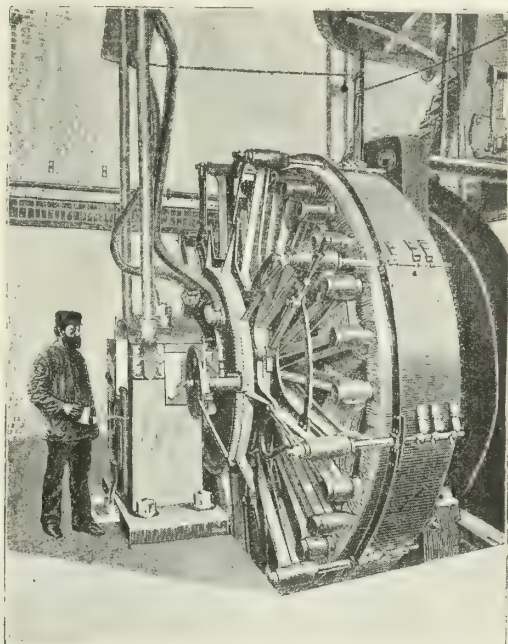
Se col Siemens — e col Wheatstone — la scienza e l'industria avevano acquistato la dinamo, essa era però ben lontana dal fornire una corrente uniforme quale era quella della pila. Nella generalità delle macchine inventate, la corrente — raddrizzata, o no, per il circuito esterno — era una successione, sia pure rapidissima, di ondate che andavano da zero — quando l'avvolgimento indotto passava per il luogo equidistante dai poli del magnete induttore — ad un massimo — allorchè esso si trovava dove più intensa era l'azione degli stessi poli — per ridiscendere a zero, risalire da capo e così via. Il Wheatstone fino dal 1841 aveva, è vero, costruito una macchina a cinque armature così disposte — tra loro e rispetto ai magneti — e così collegate, che se ne aveva una corrente *continua*, tale cioè che in nessun momento del funzionamento la corrente era nulla. Ma quella corrente era ben lontana dall'avere anche la costanza della intensità: essa era enormemente fluttuante. E se l'Holmes, nella sua grande e bella macchina, che figurava alla Esposizione Internazionale di Londra del 1862, era riuscito a rendere

(1) *Traité théorique et pratique des Machines Dynamo-Électriques*, vers. di E. Boistel, Parigi, Béranger, 1900. Cotesto pregevole volume ha una storia particolareggiata, molto ben fatta e documentata della dinamo: da essa sono prese alcune delle notizie riferite sopra.

(2) Cioè in modo che solo una parte della corrente fornita dalla dinamo passasse per il filo avvolto ai nuclei delle elettrocalamite induttrici.

le fluttuazioni molto minori, lo aveva ottenuto ricorrendo nientemeno che a sessanta magneti a ferro di cavallo ed a centosessanta rocchetti.

Si deve al genio italiano la prima macchina che fornisse una corrente — oltre che *diretta* cioè percorrente il circuito esterno sempre nel medesimo senso — a fluttuazioni tanto piccole da riuscire praticamente *costante:* parliamo di quella che Antonio Pacinotti ideava ancora giovinetto, e faceva costruire nel 1860 per conto del Gabinetto di Fisica Tecnologica dell'Università di Pisa.

Quella macchina, in realtà, era stata costruita perchè fosse un motore elettromagnetico, ma l'inventore — con vero lampo di genio — aveva veduto che era *invertibile* (1). Egli stesso l'aveva, anzi, fatta funzionare come generatore, ottenendone « una corrente indotta continuamente diretta nel medesimo verso, che mostrava ad una bussola una discreta intensità, anche dopo di avere attraversato il solfato di rame o l'acqua acidulata con acido solforico »: ed aveva pensato che della invenzione cresceva « il pregio il poter ridurre con facilità la macchina da una elettro-magnetica ad una magneto-elettrica con corrente continua ». Essa venne descritta solo tre anni dopo la costruzione in una breve Memoria — « Descrizione di una macchinetta elettro-magnetica del dott. Antonio Pacinotti »; in *Nuovo Cimento*, anno 1863, T. XIX, p. 378 a 384 —; Memoria, che è un modello per lucidità di forma ed acutezza e densità di pensiero, e conteneva — con altri particolari molto interessanti — due assolute novità supremamente geniali. Una era un'elettro-calamita circolare, nella quale i poli si possono far movere, nel ferro sottoposto alla magnetizzazione, così che facendo girare cotesta « *elettro-calamita trasversale* » i poli restano idealmente fissi nello spazio. L'altra era una disposizione ingegnosissima mercè la quale il filo dell'elettrocalamita — pur essendo esso rivestito di materia isolante, pur formando esso una spirale chiusa, pur facendosi ruotare l'anello di ferro intorno a cui era avvolto — poteva ricevere sempre la corrente da due punti variabili nella spirale, fissi nello spazio; ovvero — nel caso in cui la macchina fosse usata come generatore — poteva mandare nel circuito esterno con senso costante, così da formare una corrente unica uguale alla somma, le due correnti generantisi nelle due metà dell'anello.

Grande dinamo multipolare a corrente continua.

Tipo da 1000 cavalli dinamici, della Casa Siemens e Halske di Berlino. Da pubbl. della Casa costr.

Legg. espl. — L'indotto è form. del grande avvolgimento periferico ad anello, di cui è parte il collettore le lamine del quale costituisc. la superf. cilindrica est.; l'induttore da una stella di elettrocalam. radiali, nell'interno del grande anello.

(1) « Questo modello » scriveva il Pacinotti nella monografia che citiamo nel testo « ben mostra come la macchina elettro-magnetica sia opposta alla magneto elettrica, giacchè nella prima circolando per i rocchetti la corrente elettrica introdottavi dai reofori *ll'* si otteneva il moto della ruota e il suo lavoro meccanico, e nella seconda impiegando un lavoro meccanico per far girare la ruota si ottiene... una corrente che circola nei rocchetti, e si porta ai reofori *ll'* per essere introdotta nel corpo sul quale deve agire ».

L'*anello* del Pacinotti ed il *collettore* — così si chiamò poi quel commutatore a molti segmenti — sono rimasti, e rimarranno sempre, nella dinamo e nel motore a corrente diretta — o, come comunemente si dice, continua —: essi ne sono anzi l'elemento essenziale. Ma la invenzione giacque dimenticata per parecchi anni.

Nel 1870 Zenobio Gramme di Parigi inventava, e nel 1871 — *Comptes Rendus de l'Ac. des Sc.*, a. 1871, T. LXXIII, p. 175 a 178; Nota del Gramme presentata dal Jamin — faceva conoscere, una macchina con un indotto ad anello ed un collettore come quelli del Pacinotti, salva l'assenza dei denti nel nucleo di ferro e dei cunei di legno. Essa richiamò l'attenzione del mondo scientifico e dei tecnici, e dalla macchina del Gramme cominciò il periodo vero della dinamo industriale.

Fu completamente originale la invenzione del Gramme, od aveva egli avuto notizia di quella del Pacinotti? Delle due cose amiamo credere la prima, per quanto le concezioni dell'anello e del collettore siano così singolari, da rendere il caso insuperabilmente strano (1) nella storia dei fatti analoghi, e per quanto leggendo la seconda delle Memorie del Gramme — *C. R. de l'Ac. de Sc.*, a. 1872, p. 1497 a 1500 — faccia una certa impressione un particolare di cui non si arriva a comprendere la ragione, quando non fosse quella di differenziare il nucleo in ferro dell'indotto del Gramme dall'altro del Pacinotti (2).

La macchina con l'indotto ad anello ed il collettore si diffuse rapidamente, ed anello e collettore correvano sotto il nome del Gramme: fu solo al Congresso Internazionale di Elettricità tenutosi a Parigi nel 1881, che la priorità della invenzione del Pacinotti fu solennemente proclamata, e da quella data la nuova armatura fu detta ad *anello Pacinotti-Gramme* (3).

(1) Un altro caso molto strano si presentò, ancora col Gramme, molti anni dopo. L'ing. Bartolomeo Cabella, direttore del Tecnomasio Italiano, e l'ingegnere Emanueli della medesima Casa ebbero l'idea di una disposizione ingegnosa delle elettrocalamite e dell'indotto, creando quel tipo di dinamo che fu detto *superiore:* ebbene, il Gramme fece brevettare come sua la medesima disposizione. Non possiamo dire se egli conoscesse la invenzione del Cabella quando si mise a costruire egli pure la dinamo di quel tipo: questo però possiamo asserire che la data del brevetto del Gramme è il 27 marzo 1885, e che nel periodico *L'Elettricità* del 25 gennaio antecedente erano stati pubblicati il disegno e la descrizione della dinamo del Tecnomasio. Aggiungiamo che l'ing. Cabella conserva due lettere di Ippolito Fontaine — l'illustre ingegnere della Casa Gramme — su le quali vi sarebbero commenti interessanti a fare, e che è ad augurarsi vengano rese di pubblica ragione.

(2) A pag. 1497 il Gramme dice, parlando dell'indotto: « La mia elettrocalamita mobile a poli conseguenti è composta d'una corona in ferro dolce, non offrente alcuna sporgenza, su la quale si avvolge . . . ». Perchè quel « non offrente alcuna sporgenza »? Confessiamo pure di trovare, in tutto cotesto, un'altra coincidenza singolare, e si è che la monografia del Pacinotti sia sfuggita al Jamin, il quale presentò la prima Memoria del Gramme, e fu — oltre che tra i fisici più colti nella storia della scienza — lettore del *Nuovo Cimento,* ch'egli cita spesso nel grande *Cours de Physique de l'Éc. Polytechn.* compilato da lui col Bouty.

(3) Del modo con cui fu da taluni considerato il Pacinotti prima del Congresso del 1881 potrá dare l'idea un piccolo brano che traduciamo testualmente dalla grande opera — in cinque volumi — *Exposé des Applications de l'Électricité* del Du Moncel; Parigi 1873. Scrive il Du Moncel a pag. 224 del tomo II: « L'invenzione della macchina di Gramme venne rivendicata anche dal signor A. Pacinotti di Pisa, che *pretende aver descritto* un apparecchio di cotesto genere nel tomo 19 del giornale *Il Nuovo Cimento* (1860) (*sic*) » E dopo avere riportato qualche periodo di una rivendicazione scritta dal Pacinotti al periodico *Les Mondes*, nota: « Questa descrizione è talmente oscura, che è difficile di scoprire quanto vi sia di comune tra le due invenzioni. Noi crediamo piuttosto che il signor Pacinotti non abbia compreso l'apparecchio del signor Gramme ». Sia lecito *piuttosto* il pensare che il signor Du Moncel non si era dato la pena nemmeno di cercare il tomo 19 del *Nuovo Cimento*: se ciò avesse fatto, egli avrebbe veduto — a parte l'anno 1863 e non 1860 — che si trattava di ben altro che di una *pretesa*, che la descrizione era un modello di lucidità, e che chi aveva ideato e costrutto la « macchinetta elettro-magnetica » di Pisa aveva abbastanza intelligenza e famigliarità con l'argomento per comprendere . . . ciò che — a parte qualche particolare secondario — non era se non la sua stessa invenzione. Giustizia vuole si dica come più tardi il Du Moncel abbia reso, in altre opere, piena testimonianza al Grande italiano.

I tempi, così, erano omai maturi per la costruzione di macchine veramente industriali ed economicamente convenienti: ed i tipi si andarono moltiplicando prodigiosamente, tutti conformi nell'essere ad induttore formato con elettrocalamite e ad autoeccitazione, tutti conformi nell'indotto capace di fornire la corrente continua — diretta sempre nel medesimo verso nel circuito esterno, grazie al collettore, e sensibilmente costante — fosse poi, esso indotto, ad anello Pacinotti-Gramme; fosse a *tamburo* come quello di von Hefner Halteneck, trasformazione di quello Siemens *a navette* per la quale tutta l'armatura veniva coperta dall'avvolgimento indotto, così da renderlo, per cotesto lato, analogo a quello ad anello; fosse a poli radiali come quello ideato dal Lontin nel 1874. Particolarmente si diffuse il tipo di dinamo ideato dall'Edison — ad elettrocalamita formata da due alte colonne verticali poggianti su espansioni polari, tra le quali era collocato l'indotto, modificazione di quello Siemens-Hefner Halteneck — fino a che il Cabella, direttore del *Tecnomasio Italiano* — che già aveva fatto perfezionamenti notevoli nell'indotto, in modo da attenuare notevolmente le perdite che ivi la corrente subisce per la resistenza dell'avvolgimento — al principio del 1885 ideava con l'Emanueli il *tipo superiore* — cui già si accennò pag. 454 nota 1 — subito adottato dal Gramme, dalla Casa Siemens e Halske di Berlino, dall'Allen di Londra, e divenuto poi il più comune per le dinamo ed i motori a due poli, o *bipolari*.

L'alternatore monofase da 600 cavalli dinamici, della Casa Helios di Colonia, che figurava all'Esposizione di Francoforte S. M., del 1891.

Legg. espl. — Una corona di 48 grandi elettrocalamite radiali — mantenute eccitate med. corr. continua forn. da altra macch., ed offrenti alla perif. est. poli alternativ. nord e sud — ruota entro una corona di altrett. rocch. i cui fili sono opport. colleg., inducendovi delle correnti invertite continuamente dal fatto che davanti ad un med. rocchetto fisso passano success. dei poli alternati. I capi del filo dei rocchetti fissi comunicano poi con quelli del circuito in cui le corr. dev. essere impiegate.

Senonchè con la « grande » macchina dell'Edison, con la sua lampada ad incandescenza, con i suoi misuratori industriali, col suo sistema di regolazione e distribuzione della corrente — Esposizione di Parigi del 1881 — la elettricità era entrata nel periodo veramente industriale, ed erano sorte ed andavano sorgendo delle grandi *Centrali* per produzione e distribuzione dell'energia elettrica a scopo di illuminazione, ed anche — in scala molto piccola, però — di azionamento dei motori.

E subito la dinamo bipolare si mostrava non più conveniente, data la grande velocità che avrebbe dovuto avere in essa la periferia della parte rotante perchè intorno alle spire variasse rapidamente il flusso.

Vennero allora le dinamo a molti poli — *multipolari* — per le quali Lord Elphinstone, già verso il 1880, aveva insegnato come dovesse costruirsi l'indotto a tamburo, Schuckert di Norimberga, Gramme, Gülcher, Mordey, avevano trovato come avesse a costruirsi quello ad anello.

Così nel 1889 la Casa Siemens ed Halske impiantava, per la illumina-

zione di Berlino, delle macchine capaci ciascuna di alimentare 5000 lampade; la *Maschinenfabrik* di Oerlikon, verso il 1890, stabiliva, a Neuhausen presso Sciaffusa, delle dinamo da 600 cavalli che trasformavano in elettrica — per estrazione dell'alluminio — una parte dell'energia della celebre cascata del Reno; nel 1893 alla *World's Fair* di Chicago, la *General Electric Company* faceva funzionare una macchina, di codesto tipo a corrente continua, che sarebbe stata capace di alimentare da sola ventimila delle ordinarie lampade ad incandescenza (1), mentre la Casa *Brush* e la *Fort Wayne Eletric Company* vi esponevano delle macchine capaci di alimentare ciascuna una *serie* di centoventicinque lampade ad arco, per la quale serie si richiede corrente a potenziale elevatissimo ed offrente, per ciò stesso, gravissime difficoltà di costruzione, di regolazione, e di funzionamento della macchina; difficoltà superate con idee geniali anche da Elihu Thomson e Edwin Houston in quella loro genialissima macchina per illuminazione ad arco, che è forse la più diffusa — del genere — nel mondo, e con cui cotesta illuminazione è fatta pure nelle vie nostre.

Schema di un alternatore trifase.

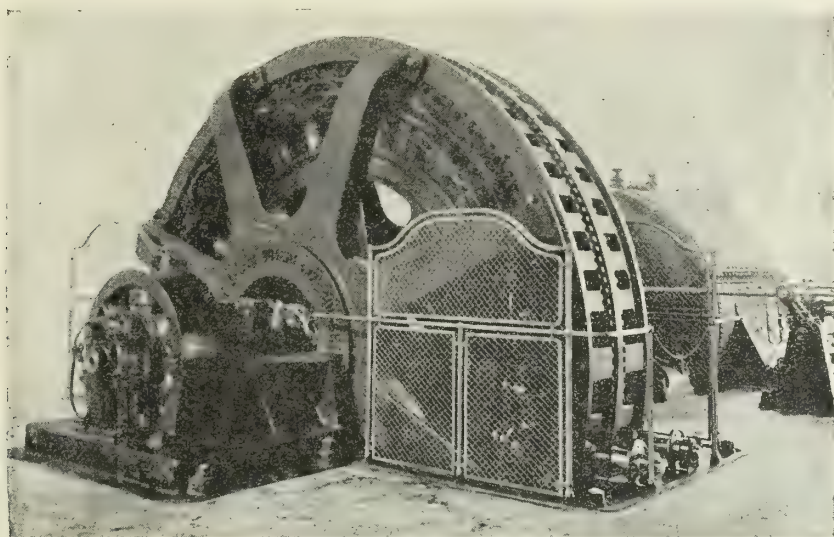
Legg. espl. — L'induttore è form. da una corona di magneti a poli N, S', N, S.... altern.: l'indotto da tre avvolg rappr. schematicamente dalle tre linee ondul. *AA'*, *BB'*, *CC'*: ogni polo esercita la stessa az. induttrice sui tre avvolg; ma, per lo spostamento relativo di questi, l'az. sul primo è ritardata risp. al secondo, e quella su questo lo è risp. all'az. sul terzo. — Evidentemente la corona dei magneti può essere disp. all'interno degli avvolgimenti indotti, invertendosi, cioè, la disposizione.

Mentre la dinamo a corrente continua si andava così sviluppando rapidamente, esigenze portate dalla distribuzione — in progresso, e più, dalla trasmissione economica dell'energia elettrica a grande distanza — esigenze che esporremo più avanti, avvertivano però i tecnici della opportunità dapprima — della necessità dippoi — di un ritorno, per cotesto lato, alle correnti alternate. Così avvenne che, mentre da quando si applicava alla macchina dei Pixii la *bascule* dell'Ampère, si era lavorato a raddrizzare le correnti ed a renderne costante la intensità, si aprisse un'era nuova, nella quale la preoccupazione era quella di costruire dei buoni *alternatori*, al che giungevano segnatamente il Westinghouse a Pittsburg in America, il de Ferranti ed il Crompton a Londra, il Mordey pure a Londra, il Siemens a Berlino, il Zipernowsky, della Casa Ganz, a Budapest.

Cotesti alternatori, che raggiunsero pure ben presto dimensioni degne di nota — nel 1891 a Francoforte la Casa Helios di Colonia ne esponeva uno da seicento cavalli dinamici — non dovevano, però, rappresentare il compimento dei *desiderata* dell'industrie elettriche: soddisfacenti fino a che si trattava della illuminazione, non lo potevano essere — come sarà chiarito più oltre — per le applicazioni meccaniche. Si trovò allora la necessità di generatori *polifasi*, i quali fornissero, non già una corrente alternata, ma un sistema di due — *sistema bifase*, o *difase* — ovvero tre — *sistema trifase* — correnti alternate, tutte identiche, tutte contemporanee, ma generantisi pro-

(1) Di quella dinamo vale la pena di ricordare come l'induttore — del diametro esterno di circa 5 m. — pesasse 36 tonnellate: l'indotto — a tamburo, del diametro di 3,20 m. — pesasse oltre 33 tonnellate e fosse accoppiato ad un volante del peso di 86; ed il collettore — del diametro di m. 2,30 — pesasse da solo 5000 chilogrammi.

pagantisi e lavoranti ciascuna in un proprio circuito; sistema caratterizzato da questo fatto, che ciascuna delle innumerevoli *fasi*, per le quali passano la forza elettromotrice o la corrente di ognuna di quelle correnti alternate, non é sincrona alla uguale fase dell'altra o delle altre, ma si presenta dopo una metà od un terzo del *periodo* di tempo in cui tutte le fasi si compiono (1).

Codeste correnti polifasi costituiscono poi anche un mezzo per rendere

Alternatore trifase *Brown Boveri*, da 2160 cavalli dinamici. — Stazione generatrice di Paderno d'Adda.

Legg. espl. — Sul dav., a sin., l'*eccitatrice* che forn. la corr. all'induttore — cost. da una corona di elettrocal. radiali — girev. al centro del grande anello form. da lamiere di ferro nelle quali stanno le sbarre indotte, colleg. opportun. alle teste — da sbarre arc. visib. nella fig. e che con le loro tre distanze dal centro distinguono gli avvolgimenti destin. alle tre fasi, e che però, quanto alle sbarre poste nel ferro, si trov. tutti alla stessa dist. dal centro. — A destra la turbina motrice, opera non meno pregevole della Ditta *Ing. A. Riva, Monneret* e *C.* di Milano. Quegli altern. gen. corr. a circa 13000 *volta*, e rappres. un vero capolavoro, con partic. affatto nuovi e passati poi nell'uso generale.

più economiche le macchine, permettendo di utilizzare per un secondo ed un terzo avvolgimento lo spazio che diversamente rimarrebbe libero nell'indotto di un alternatore; così il Goerges ha dimostrato che una macchina trifase forniva 2,73 volte la potenza di cui era suscettibile se montata con lo stesso indotto a corrente continua. Inoltre nella trasmissione della energia permettono economia nel rame della condottura.

Secondo il Thompson — *op. cit.* a pag. 452 — Zenobio Gramme sarebbe stato il primo che costruisse un alternatore polifase appunto per impiegare

(1) Una corrente alternata è una corrente che cambia continuamente di senso, propagantesi cioè nei corpi costituenti il suo circuito — fili, lampade, motori, ecc. — alternativamente in un senso e nell'opposto. È dunque una successione di correnti, ciascuna delle quali, da quando comincia, cresce continuamente fino ad un valore massimo, diminuisce progressivamente fino ad annullarsi, per riprendere la medesima successione di fasi, ma

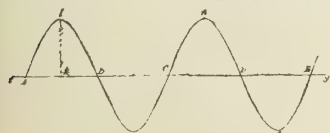



Fig. m.

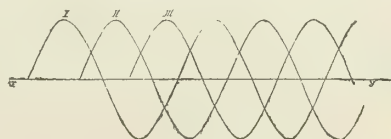
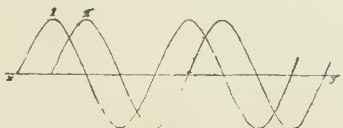



Fig. n.

in modo che il circuito sia percorso in senso opposto, e così di seguito. Di cotesto fluttuare ed alternarsi dà l'idea l'andamento della curva ondulata della *figura m* rispetto alla retta *xy*. — La *fig. n* dà poi l'idea di un sistema *bifase* e di uno *trifase*, il primo costituito da due correnti identiche, l'altro da tre: la successione delle infinite fasi è identica per tutte le correnti costituenti il sistema, ma tra il principio di una qualunque delle correnti elementari ed il principio di un'altra vi è un intervallo di tempo — identico in un medesimo sistema, e che è perciò di un quarto del *periodo* completo nel sistema bifase, di un terzo nel trifase —.

utilmente dello spazio libero su l'indotto; però, delle quattro correnti che la macchina forniva, ciascuna era impiegata in modo indipendente dalle altre: « non pare che quel costruttore abbia mai avuto coscienza della possibilità di combinare le correnti di fasi differenti allo scopo di una utile applicazione, nè che egli lo abbia mai intravveduto ». Bifasi erano i grandi alternatori studiati dal Gordon per l'impianto di Paddington — 1883, circa —; e bifase era pure l'alternatore del Bradley — 1887 — a quattro anelli collettori.

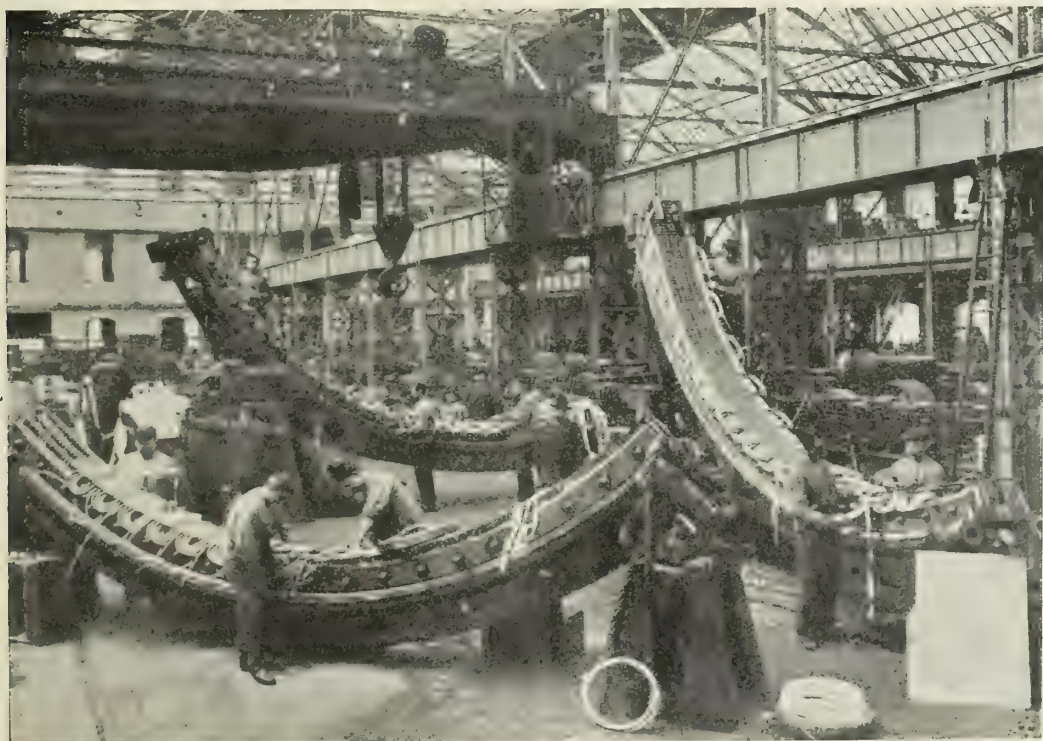
Una macchina trifase molto interessante per la costruzione ed il modo di accoppiamento con altra simile, fatto così da realizzare un sistema analogo a quello con cui si compiè più tardi — 1891 — la celebre trasmissione di energia tra Lauffen e Francoforte, metteva in azione Federico Haselwander il 12 ottobre 1887.

Si potrebbe tuttavia fissare al 1891 — impianto di Heilbronn eseguito dalla *Maschinenfabrik* di Oerlikon con macchinario ideato da Carlo Brown che allora ne era alla testa — l'entrata nella pratica delle correnti polifasi, fatta di proposito per la coscienza acquistata dai tecnici dell'utile che il nuovo sistema poteva dare; utile, dimostrato luminosamente delle esperienze della trasmissione Lauffen-Francoforte testè ricordata, compiutasi — col materiale che era pronto per l'impianto di Heilbronn in occasione della memoranda Esposizione di Elettricità tenutasi a Francoforte nell'estate di quell'anno. —

Due anni dopo, alla Esposizione Colombiana di Chicago, la Casa Westinghouse presentava già ben dodici alternatori bifasi da 1000 cavalli ciascuno, che servivano alla alimentazione di oltre 60.000 lampade ad incandescenza — avrebbero potuto alimentarne complessivamente 120.000 da 16 candele —; ed enormi alternatori bifasi — alti più che quattro metri, e da 5000 cavalli ognuno — si impiantavano poco dopo a Niagara Falls, destinati a trasformare in elettrica la potenza loro trasmessa, mediante un albero verticale alto più che cinquanta metri — sorgente dall'abisso, scavato al piede delle celebre cascata, ed in cui si precipita, ad animare le gigantesche turbine, una parte dell'acqua del bel fiume, deviata mediante un canale, opera di vera grandiosità romana. — Il Rodano vedeva poco dopo — a Chèvres, ad otto chilometri a valle di Ginevra — i grandi alternatori da 1200 cavalli della *Compagnie de l'Industrie Électrique*, impiantati per alimentare nella bella regina del Lemano la rete delle tranvie e quella della illuminazione, nonchè la grandiosa officina meccanica per la distribuzione dell'acqua potabile. A Paderno sull'Adda sorgeva — 1898 — la Centrale della nostra *Società Edison* con i sette splendidi alternatori trifasi da 2100 cavalli del Brown, ed a Vizzola Ticino la *Società Lombarda per distribuzione di energia elettrica*, col sussidio di uno degli impianti idraulici che si possono chiamare una vera meraviglia della tecnica, e mediante alternatori trifasi da circa 2000 cavalli, della Casa Schuckert di Norimberga, utilizzava, al finire del secolo, una potenza di 18.000.

Non proseguiremo nella enumerazione, e piuttosto accenneremo alla evoluzione del tipo.

Quelli del Westinghouse citati sopra, che avevano servito — come si disse — alla illuminazione di parte della *World's Fair* di Chicago, risultavano di due macchine identiche, aventi asse comune ed i magneti induttori — a corona

periferica, protendentisi radialmente all'indentro — posti a perfetto riscontro, così che chi ne avesse guardato una di fronte, avrebbe avuto da ciascuno dei magneti di essa, completamente mascherato il corrispondente dell'altra: i due indotti — a tamburo, e girevoli entro la corona dei magneti induttori — erano pure identici, e stavano callettati sul medesimo albero; ma la callettatura era fatta in modo che le varie sezioni dell'uno avessero i lati sul prolungamento degli assi di simmetria delle sezioni dell'altro: così le correnti alternate fornite dall'uno riuscivano spostate di un quarto di periodo rispetto a quelle fornite dall'altro. Il tipo fu costruito anche da altri, ma tosto abbandonato. Negli alternatori del grande impianto del Niagara — impianto progettato per 150.000 cavalli, e realizzato già per 65.000 alla fine del secolo — un induttore esterno — a 12 enormi elettrocalamite fissate all'interno di un immane anello cilindrico — ruota intorno ad un asse verticale; al centro, l'indotto — fisso — formato da una pila cilindrica di lamiere di ferro collegate mediante bolloni, e da — trecentottantaquattro — sbarre verticali di rame — della sezione di duecentocinquantasei millimetri quadrati — collocate,

L'indotto di un grande alternatore polifase in costruzione.

Legg. espl. — Rappres. l'indotto di un alternatore da 3000 cavalli dinamici, della Casa Helios di Colonia. Il lettore potrà rilev come l'indotto di cot. altern. polif. sia formato da sbarre rettilinee parallele all'asse della macch., colleg. opport. alle due teste med. conduttori arcuati.

Da fotogr. cortes. fav. dalla Casa Costruttrice.

appunto verticalmente, per coppie, entro scanalature praticate nella parete cilindrica della pila di lamiere, e connesse l'una all'altra così da formare i due circuiti per un sistema bifase. Il tipo vive al Niagara; non — forse — altrove, anche perchè il sistema bifase per la trasmissione e distribuzione dell'energia ha ceduto — può dirsi — completamente il passo al trifase. Ad asse

verticale, vive, invece, l'alternatore *a campana* — come quello della Centrale di Aarau — ideato da Carlo Brown per la turbina ad asse in quella direzione; ha l'induttore — centrale — girevole e sostenuto medianti robusti bracci a tirante partenti dall'albero come raggi inclinati leggermente verso il basso; l'indotto fisso e periferico. E vive pure — e tende a diffondersi — l'altro alternatore trifase *a ferro ruotante*, in cui, come già in macchine del Ritchie — 1837 — del Page — 1839 — del Dujardin — 1844 — e negli alternatori — più recenti — del Kingdon, del Mordey — 1888 — di Stanley e Kelly, dell'*Allgemeine Elektricität Gesellschaft.* del Kennedy, del Thury, del Brown, l'induttore e l'indotto sono fissi — sopprimendosi, per siffatto modo, ogni organo mobile di alimentazione con corrente dell'induttore, o di presa di corrente dall'indotto — e solo ruotano delle masse di ferro; rotazione, cotesta, la quale avviene così che le masse stesse vadano passando davanti ai poli dell'induttore, tra esso e l' indotto: poichè nel ferro il flusso magnetico si suscita più facilmente che nell'aria, il successivo alternarsi dell'uno e dell'altra tra ciascuno degli elettromagneti e l'indotto trae seco fluttuazioni del flusso, e, conseguentemente, generazione di correnti indotte.

Destinato a scomparire l'alternatore trifase del tipo dell'impianto di Heilbronn, e dalla Schuckert adottato nella prima parte — la quasi totalità — di quello di Vizzola —; alternatore — ad induttore centrale girevole ed indotto periferico fisso — caratterizzato dall'essere l'induttore — per quanto enorme, in macchine quali quelle di Vizzola — costituito da una sola elettrocalamita, appiattita, a forma di ruota gigantesca — girevole intorno ad un asse orizzontale — della quale il gigantesco nucleo, alla periferia di ciascuna faccia piatta della ruota, si espande in una corona di poli che si ripiegano lungo la superficie cilindrica, venendo a distribuirsi giro giro intorno a questa così che quelli provenienti da una testa — poli nord — si alternino con quelli provenienti dall'altra — poli sud —. Diffuso invece forse oltre ogni altro — e diffondentesi sempre più — il tipo — « alternatore di Paderno » — ad induttore formato da elettromagneti radiali, girevoli, intorno ad un asse orizzontale, al centro di un indotto a corona; alternatore, che è una delle più belle creazioni di Carlo Brown, l'insigne elettricista a cui la tecnica deve un vero patrimonio di idee le più geniali.

Infine, come creazione della fine del secolo in costesto campo, sarà a menzionarsi il grande alternatore della Casa Helios che figurava all'Esposizione di Parigi del 1900. L'induttore — centrale e girevole, ad 84 poli — non aveva alcunchè di speciale, ove se ne tolgano le dimensioni — un diametro di otto metri — ed il peso — settantasei tonnellate —. Per contro, l'indotto — fisso, anulare ed esterno — offriva una disposizione nuova: oltre ad un avvolgimento che si potrebbe dire principale, ne aveva un secondo intercalato nel primo; ed i due avvolgimenti potevano essere accoppiati tutti in una sola serie, ovvero in due, ovvero anche in tre, così da costituire — a piacere — un generatore di correnti monofasi piuttosto che di correnti trifasi, o di entrambi i tipi insieme.

Su la maniera con cui eccitare gli elettromagneti degli alternatori si ebbero pure disposizioni variate. In alcuni — valgano d'esempio certe macchine della

Casa Ganz di Buda-Pest — la eccitazione fu ottenuta col raddrizzare parte della corrente alternata fornita dalla macchina stessa; in altri — come negli alternatori « di Paderno » ed in quelli della *Comp. de l'Industrie Électrique* di Ginevra — si ricorse ad una dinamo a corrente diretta, con l'indotto montato su l'albero stesso dell'alternatore; in altri ancora la eccitazione fu ottenuta con dinamo — a corrente continua — disposta — con motore proprio — così da essere indipendente affatto dall'alternatore. Si videro anche adottati sistemi misti: per i grandi alternatori bifasi Westinghouse già ricordati, la corrente di eccitazione era fornita in parte da dinamo speciali — sei dinamo da 350 cavalli ciascuna, per l'imponente gruppo dei dodici alternatori da 1000 — ed in parte da correnti generate dall'alternatore stesso — raddrizzate, e trasformate così da abbassarne il potenziale. — Originale poi, più che ogni altra, la eccitatrice dell'alternatore Boucherot da circa 1300 cavalli — esposto a Parigi nel 1900 — e detta *dinamo ad avvolgimenti sinusoidali* — dalla legge matematica regolante il numero delle spire delle diverse parti dell'indotto — atta a fornire tanto della corrente continua quanto delle correnti alternate, mediante una semplice modificazione della velocità angolare relativa del suo indotto e del suo campo di eccitazione.

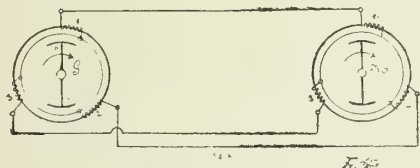
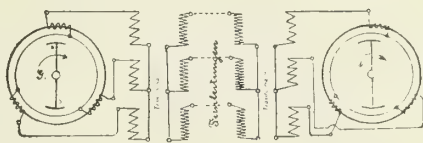



Fig. 1. Fig. 2.

Il sistema di Haselwander accennato a pag. 458.

Riprod. dalla pag. 11 del volume *Elektricität*, Francoforte, Haasenstein e Vogler, 1891.

Legg. espl. — Fig. 1.: *G*, generatore di correnti trifasi, ottenute dalla rotazione del magnete *NS* entro l'anello con le tre spirali 1, 2, 3; *M*, macchina simile, in cui la corrente trifase generata da *G* produce la rotaz. del magnete centrale. Lo schema darà al lettore l'idea di uno dei modi con cui nel sistoma trifase, con tre soli fili, si possa fare la trasmissione di tre correnti: un capo di una qualunque delle spirali è collegato — med. un condutt. rappr. dal cerchio interno — ad un capo di ciascuna delle altre due, e l'altro capo ad un filo *di linea:* così avviene — prendendo a considerare, ad es., la corr. gen. nella 1 di *G* — che quella corrente, per il corrisp. filo di linea, passa alla 1 di *M*, percorre questa, passando poi nel condutt. circ. interno si divide, percorrendo le 2 e 3 di *M:* per gli altri due fili di linea ciasc. parte va quindi a percorr. la corr. spir. 2 o 3 di *G* e ritorna alla 1 di questo.
Fig. 2. Schema simile al precedente, ma in cui le correnti generate in *G* passano alle spirali primarie di un trasformatore — V. più avanti —: quelle così suscitate nelle spirali secondarie vanno ai tre fili di linea, ed alle tre spirali primarie di altro trasformat. all'altra estr. della linea; le corr. secondaria di questo trasform. vanno poi alle spirali di *M*.

Tuttavia, di tutti i sistemi, quello della eccitazione a macchina indipendente parve prestarsi meglio d'ogni altro ad ottenere una buona regolazione dell'alternatore durante il funzionamento, e perciò verso la fine del secolo andava acquistando diffusione prevalente nei grandi impianti.

Altro dobbiamo notare su la dinamo.

Nella perfezione meccanica e fisica dello scheletro e delle forme — quali possedeva alla fine del secolo — come nei particolari costruttivi, essa recava lo stigma impressole da una moltitudine di inventori di genio. I loro nomi sono troppo dimenticati — chi ricorda ad esempio, come il Sinsteden ed il Pulvermacher fino dal 1849 suddividessero il nucleo dell'indotto impiegandovi, l'uno dei pacchetti di filo di ferro, l'altro delle lamiere? —; ma il genio ne vive nell'opera loro; ed insieme con esso vive nella dinamo l'opera di una schiera di grandi che ne indagarono e stabilirono la teoria.

Dagli studi del Weber e del Neumann — 1846 e 1847 — su le leggi dell'induzione magnetoelettrica; dai vecchi lavori — dal 1834 al 1857 — d'indole generale, del Lenz e del Le Roux, del Poggendorff e del Koosen, del Joule e del Sinsteden; e dai successivi — pure d'indole generale — del Mascart

e del Joubert, dell'Hagenbach e del von Waltenhofen, ai più recenti di E. Thomson, del Brush, dell'Hering, del Fritsche, dell'Arnold, del Kelvin, sugli avvolgimenti degl'indotti, del Mordey, del Frölich, del Clausius, dei due Hopkinson, del Kapp, del De-Ferranti, dell'Essom, su tanti punti interessanti e tali da formare un complesso che si potrebbe riguardare come costituente per la dinamo uno studio analogo a quanto fu fatto per il rilievo — e per la stessa predeterminazione — delle proprietà di una motrice a vapore; da quei primi lavori — diciamo ai più recenti, v'è tutta un'opera multiforme, acuta, profonda, geniale, che ha saputo fare di tre elementi — ferro, rame, velocità di movimento — un complesso che, se meraviglia quando lo si vede docile istrumento della intelligenza e della mano dell'uomo, non meraviglia meno quando lo si vede regolarsi automaticamente in modo da fornire ad ogni istante quella quantità di energia di cui hanno bisogno i mille svariati organi che ne attendono la vita. Essi mutano continuamente: qui una vettura elettrica si arresta, là un'altra pena nel mettere in moto il carico pesante o corre a tutta velocità; altrove sono lampade che si spengono, o si accendono; altrove ancora sono mille macchine operatrici diverse per le mille diverse esigenze dell'industria, che accelerano il moto, ne cessano, si avviano, rallentano. Che sa essa, la dinamo, di tutto ciò? Nulla: eppure — come l'uomo è arrivato ad idearla, a calcolarla, a costruirla, ad istallarla — a tutto essa provvede — ed, entro certi limiti, senza bisogno dell'intervento di lui. — Non è, cotesto, veramente meraviglioso?

Non meno meraviglioso è il motore elettrico, di cui prenderemo ora a dire.

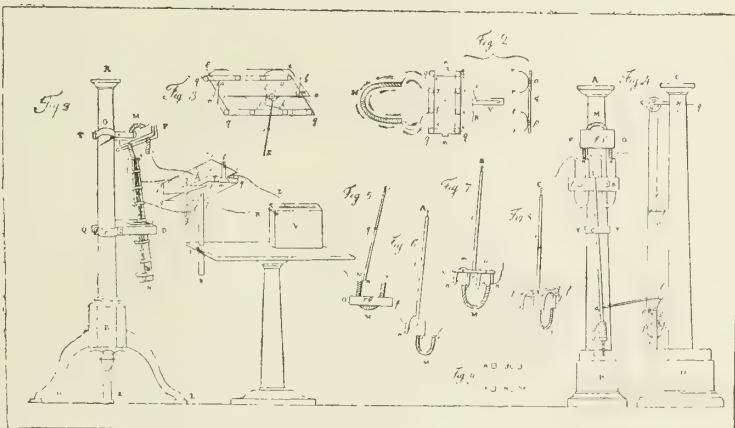
Bisogna rimontare al 1823 per avere — nella *ruota del Barlow* (1) — il primo esempio dell'impiego delle azioni elettromagnetiche nel produrre un moto continuo di rotazione; ed al 1831 ed anni immediatamente successivi per trovare — negli apparecchi dell'Henry, del Dal Negro (2), del Ritchie, del Jacobi — dei veri motori funzionanti mediante l'elettricità. Erano essi dei meccanismi, nei quali il moto — rotatorio, od oscillatorio trasformato nell'altro — veniva ottenuto mediante attrazione tra poli di magneti — o pezzi di ferro dolce — e poli di elettromagneti; e tra tutti ebbe importanza speciale quello del Jacobi (3), non tanto per i risultati pratici, quanto

(1) L'elegante apparecchio del Barlow — *On magnetic Attraction*, Londra, 1823, e *Biblioth Univ.* T. XX, p. 127 — consisteva in un magnete a ferro di cavallo posto orizzontalmente e tra i cui poli si trovava una vaschetta contenente mercurio lambito dai denti di una ruota cava di rame sorgente nel piano verticale di simmetria del magnete e girevole intorno ad un asse — orizzontale — passante per il suo centro. Facendo arrivare una corrente elettrica al mercurio e facendola partire per l'asse — o reciprocamente — la ruota si poneva in movimento, e riusciva animata da rotazione continua finchè la corrente durava.

(2) Alcuni assegnano la data del 1832 al motore dell'abate Salvatore Dal Negro, professore di fisica alla Università di Padova. Esso era stato costruito invece nel 1831, come narra il Dal Negro stesso — *Nuova macchina elettro-magnetica immaginata dall'abate Salvatore Dal Negro*, in *Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto*, a. 1834, T. IV, p. 67 a 80 —. L'inventore anzi ne aveva fatto un cenno nella quarta parte della sua prima Memoria sul magnetismo temporario, pubblicata nel Tomo VI degli *Atti dell'Accademia di Scienze, Lettere ed Arti di Padova*.

(3) Il Jacobi cominciò nel 1834 ad occuparsi dei motori elettromagnetici, e nel 1835 pubblicò a Potsdam l'interessante monografia « *Su l'applicazione dell'Elettromagnetismo al movimento delle macchine* ». Nel 1837, per ordine dell'Imperatore di Russia e dietro iniziativa del Jacobi, fu costituita sotto la direzione dell'ammiraglio Krousenstern una commissione, composta di membri dell'Accademia delle Scienze di Pietroburgo — Jacobi, Fuss, Koupfer, Ostrogradisky, Lenz, Sobolewsky e barone Schilling di Kannstadt — allo scopo di studiare l'applicazione dell'energia elettromagnetica alla propulsione delle navi. In realtà il Jacobi costrusse un canotto della lunghezza di 28 piedi, della larghezza di 8 piedi e 9 pollici e della profondità di 3 piedi, mosso

perchè dagli studi sul motore il fisico russo fu condotto col Lenz a lavori scientifici del più grande interesse. Ed invero essi giunsero a determinare le leggi degli elettromagneti e dell'autoinduzione; a trovare il metodo per misura dell'intensità della corrente mediante il galvanometro a quadrante e le leggi della bilancia elettromagnetica; nonchè a sollevare la questione di una determinazione più esatta delle unità elettriche (1).

La storia registra, nel frattempo, la invenzione di tre altri motori elettromagnetici meritevoli di menzione: fatto curioso, erano tutti destinati a tentativi di trazione elettrica; applicazione che non doveva realizzarsi invece se non sul declinare del secolo, ma di cui — ed è fatto degno di nota — al primo comparire del motore elettromagnetico si era veduta subito l'importanza. Alludiamo al motore —

Il motore elettro-magnetico del Dal Negro.
Ripr. della Tav. che accomp. la monogr. dell'inv. citata nel testo, pag. 462 nota 2.ª
Legg. espl. — Fig. 1: *AB* colonna in legno; *NS* fascio magnetico oscillante; *sMn* elettrocalam.; *V* pila di Wollaston: tra la pila e l'elettrocal. un commutatore a bilanciere per invertire la polarità dell'elettrocalamita. — Fig. 2 e 3, illustrazioni del commutatore. Le rimanenti figure indicano disposiz. ed applic. diverse del motore.

da un motore della potenza di 4, 5 cavalli, ed alimentato da una corrente di 64 elementi Grenet. Il canotto poteva contenere quattordici uomini, e riuscì a rimontare — molto lentamente per altro — la Neva. Alla stessa epoca fu costrutto pure un motore muoventesi su rotaie ed atto a trasportare il peso di un uomo. I risultati delle prove furono pubblicati nel Bollettino dell' Accademia delle Scienze e nella stampa periodica dell'epoca — 1839 —. Per maggiori particolari veggasi *Aperçu sur les travaux des Russes dans l'Électricité*, pubblicato a Pietroburgo nel 1900 dalla *Societé Imp. Techn. de Russie*, dalla quale monografia sono state attinte alcune delle notizie che diamo in questa nota. Per conto nostro poi non lasceremo di avvertire come i risultati praticamente riuscissero negativi, e come il Jacobi vedesse molto nettamente sia la impossibilità della costruzione di motori elettromagnetici di grandi dimensioni basati su attrazioni e ripulsioni di poli magnetici, anche se il relativo modello in piccolo funzionasse perfettamente, sia la ragione di ciò, consistente nel fatto che — nella riproduzione in grande — la necessità di conservare inalterate le proporzioni rendeva troppo forti le distanze — tra i poli magnetici fissi e quelli mobili — perchè le attrazioni e le ripulsioni avessero la voluta intensità.

(1) Le leggi delle elettrocalamite furono svilvppate dal Lenz e dal Jacobi in una serie di Memorie contenute nel *Bulletin Scientifique* dell' Accademia di Pietroburgo, T. IV p. 22 e 24, T. V, p. 17 e nel *Bulletin de la Classe Physico-mathém.* della stessa Accademia, T. II, N. 5, 6, 7. Vegg. in proposito la nota a pag. 451, Mem. orig. del Jacobi « *Sur la théorie des machines électromagnetiques* » in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1852, T. XXXIV, p. 451 a 480. — Su cotesta monografia noteremo che il Jacobi vi dà un riassunto di tutti i suoi lavori antecedenti in materia con le indicazioni bibliografiche particolareggiate. Come poi il Jacobi avesse sviscerato l'argomento, lo mostrino i seguenti brani che ne traduciamo. Parlando del fatto che quando, con la corrente elettrica, si mette in azione un motore elettromagnetico la corrente s' indebolisce tanto più quanto è maggiore la velocità, ed aumenta se questa diminuisce — fatto studiato con molta sagacia dal Jacobi — egli — p. 457 — scrive: « Non ripeterò qui le esperienze istituite da me su cotesto argomento. Esse sono tutte descritte nella mia *Memoria su l'applicazione dell'elettromagnetismo al movimento delle macchine;* pag, 44, ecc. Il fatto è che una macchina elettromagnetica in moto rappresenta al tempo stesso una macchina magneto elettrica la quale genera una corrente opposta a quella della pila .... La forza elettromotrice delle correnti magneto-elettriche sviluppate in una bobina sottoposta all'influenza di un magnete permanente o temporario è proporzionale: 1.° alla forza magnetica messa in gioco; 2.° al numero delle spire contenute nella bobina; 3.° alla velocità di cambiamento della posizione del magnete rispetto alla bobina ». Ed a pag. 474, concludendo la teoria del motore per la parte riguardante il lavoro massimo, scrive: « Mentre la macchina produce il lavoro massimo, l'intensità della corrente è ridotta alla metà della intensità primitiva ». L'alto valore di coteste proposizioni che racchiudono una parte notevole dei cardini su cui la scienza e la tecnica hanno dovuto mettere la teoria della dinamo e del motore elettrico, non isfuggirà certo a quanti hanno famigliarità con l'argomento, ove riflettano all'epoca in cui quei principi furono scoperti dal grande fisico russo.

1834 — di Tomaso Davenport, fabbro americano — di Brandon, nel Vernont — il cui veicolo — recante la batteria di pile necessaria al movimento — veniva esposto nel 1835 a Springfield nel Massachusets, poi a Boston dove funzionava per qualche tempo; al motore — 1838 — di Roberto Davidson miseramente fatto a pezzi — per ragioni analoghe — come il battello del Papin, dopo che — malgrado il peso, importante, con la batteria di pile, cinque tonnellate — aveva corso alla velocità di 6 chilometri all'ora tra Edimburgo e Glascow; al celebre motore del prof. C. G. Page dello *Smithsonian Institute*, col quale egli, grazie ad una larga sovvenzione — 150.000 franchi — accordata dal Congresso degli Stati Uniti, faceva i clamorosi esperimenti di trazione elettrica — cominciati il 29 aprile 1851 — su la ferrovia da Washington a Bladensburg; esperimenti in cui si raggiungevano i 30 chilometri all'ora, e che venivano interrotti dalla rottura dei vasi delle pile provocata dalla trepidazione degli assi della vettura.

Lasciando i motori del Wheatstone, del Borbouze ed altri che non ebbero importanza; lasciando quello del Pacinotti di cui già si discorse — pag. 453 —; saranno a ricordarsi il motore del Deprez ad armatura Siemens per la genialità della disposizione; quello del Griscom, che ebbe verso il 1880 larga applicazione alle macchine per cucire, ai trapani e ad altri apparecchi di meccanica minuta; quello del Trouvé, che nel 1881 alla grande Esposizione di Parigi figurava segnatamente nell'applicazione alla propulsione dei battelli; e quelli del Froment, da lui applicati al movimento di macchine utensili di precisione, così da renderli meritevoli di vera considerazione ed ammirazione (1).

Il vero motore funzionante per corrente elettrica, però, era stato trovato — solo — nel 1873, quando il caso (2) aveva fatto scoprire ad Ippolito Fontaine, per la dinamo, quella riversibilità che, per la macchina elettromagnetica, avevano già veduto il Jacobi ed il Davis, e così chiaramente espresso e sperimentato e pubblicato dieci anni prima il Pacinotti.

Da quel giorno cessò la ricerca del motore elettromagnetico di grande potenza, ed anche quelli di piccola portata si andarono abbondando; la dinamo funzionante da motore entrava trionfalmente nell'uso.

(1) Ne dia un'idea il seguente brano che traduciamo da un rapporto del Dumas — cit. del Guillemin, in *Le Monde Physique*, T. III, pag. 831 —: « Trovandoci riuniti a Londra in occasione dell'Esposizione, il signor Froment, durante una seduta, si toglie di tasca l'orologio e ci dice: È mezzodì meno dieci secondi. Per comando del pendolo del mio gabinetto, a Parigi, la mia macchina di divisione entra in movimento. Il diamante traccia cinque tratti nell'aria per allenarsi e riscaldare l'olio dei giunti dei suoi sopporti. Esso traccia cinque tratti inutili su la lastra di vetro per assicurarsi che la solca; si avanza fin là dove deve cominciare il suo lavoro; traccia i suoi tratti definitivi, corti per i *i millesimi di millimetro*, più lunghi di cinque in cinque, ancora più lunghi di dieci in dieci. Ne ha tracciati cinquecento. Esso ha compiuto il suo dovere, e rimane fermo, con la punta nell'aria, pronto a ricominciare. Ma esso segna sul pendolo il mezzodì e trenta secondi, perchè il padrone, al ritorno a Parigi, possa assicurarsi che il suo schiavo elettrico lo ha ubbidito scrupolosamente ».

(2) Alla Esposizione di Vienna accadde un giorno che l'armatura di una dinamo Gramme si mettesse d'un tratto a ruotare spontaneamente, senza che le venisse impresso moto di sorta mediante la consueta cigna. Il Fontaine, informato della cosa ed indagandone la causa, scoperse che alcuni fili — pure abbandonati, si dice, sul pavimento — partenti da un'altra macchina Gramme in azione, erano venuti a contatto coi conduttori della prima, sicchè negli avvolgimenti di questa entrava la corrente elettrica fornita dall'altra. Egli — da uomo eminente che era per intuizione e cognizioni — seppe tosto rendersi conto della ragione, e rifece la prova, accoppiando direttamente tra loro due macchine così da mandare nell'una la corrente generata dall'altra, e constatò che una funzionava realmente da motore. La scoperta menò grande rumore, e l'esperimento veniva ripetuto il giorno successivo alla presenza dell'Imperatore d'Austria.

Dapprima cotesto motore elettrico non ebbe nemmeno diversità alcuna di forma rispetto alla macchina generatrice. Si vide però bentosto come differenza d'ufficio richiedesse differenza di particolari costruttivi. Così si comprese che, mentre la leggerezza ha importanza secondaria nel generatore, può averne una grande nel motore; il perchè negli induttori di questo l'uso del ferro dolce o dell'acciaio si manifestò preferibile a quello della ghisa. Si comprese che la velocità di rotazione, se non aveva ragioni speciali di limitazione nel caso della dinamo, l'aveva invece nella macchina, il cui movimento deve trasmettersi ad alberi di officine, ad assi di vetture: di lì criteri speciali nell'assegnare numero, dimensioni, forma dei magneti induttori e numero di spire dell'indotto. Si comprese che, se lo spazio occupato e la forma non dovevano rispondere ad esigenze speciali nel caso della dinamo, ne avevano invece — grande, anche; talvolta perfino assolute — per il motore; che gli avvolgimenti della prima si potevano calcolare in modo che la quantità di calore — necessariamente come in ogni conduttore mentre è percorso dalla corrente elettrica — sviluppantesi in essa durante l'azione raggiungesse un limite assai più largo di quello consentito nel motore quando esso doveva venire chiuso — come è in quello da marina od in quello destinato alla trazione —. E la necessità di altre differenze si andarono trovando dipendentemente dalla continuità od intermittenza del funzionamento; dalla possibilità, o meno di spostare le spazzole di alimentazione; dalle condizioni influenti sul rendimento, messe in relazione con quelle determinanti il costo. Così il motore andò acquistando forma diversa dalla dinamo; varia secondo la destinazione speciale.

Tosto la nuova macchina rappresentò — e rappresenta tuttora — nell'industria un acquisto importante assai, per i grandi pregi che esso offre al confronto del motore termico. Esso occupa piccolo spazio, nè ne richiede per depositi di combustibili, o pompe, o focolari, o caldaie; due fili bastano per condurre ad uso l'energia; non vizia l'aria, nè lorda; ha semplice assai la regolazione, mentre permette molto facilmente — perfino col semplice muovere un volantino che sposti le espansioni dei poli dell'induttore, come nel modello del capitano Cantono — variazione — anche continua, non saltuaria — della velocità entro limiti estesi; facilmente trasportabile, può essere applicato successivamente a macchine diverse; può venire alimentato in modo che lo sforzo di cui è suscettibile sia il maggiore alla messa in moto, cioè quando maggiore può essere il bisogno. Ai quali pregi si accoppia l'altro — altissimo — del permettere l'impiego — per l'alimentazione — di energia derivante da quella — tanto diffusa in natura, e non altrimenti utilizzabile pur solo a qualche distanza dall'origine — fornita dall'acqua cadente.

E l'industria sarebbe stata paga di esso, ove — mentre ne avveniva la evoluzione che lo rendeva, si potrebbe dire, perfetto — non fosse sorto su l'orizzonte un altro grande problema: quello appunto della trasmissione a grande distanza dell'energia mediante l'elettricità.

Per una ragione che verrà indicata più avanti, cotesta trasmissione a grande distanza non è possibile economicamente se non impiegandovi le correnti alternate. Ora, se ciò non portava speciali condizioni per quanto ri-

guarda l'applicazione della corrente alla illuminazione, ne metteva invece di assolute per quella alla distribuzione della energia a scopi meccanici: il motore destinato a ricevere l'energia sotto forma di corrente elettrica non poteva essere quello di cui l'industria aveva già appreso a trarre partito sì grande, ma doveva essere a correnti alternate. Si pensò pertanto all'impiego dell'alternatore come macchina motrice, e se ne ebbero motori tra i quali acquistarono fama quelli della Casa Ganz di Buda-Pest.

L'esperienza però li dimostrò poco adatti nella maggior parte dei casi. Essi richiedevano — salvo introdurre complicazioni di raddrizzamento e trasformazione della corrente alternata — che una corrente continua fornita da apposita sorgente ne eccitasse gli elettromagneti induttori, e — condizione assai grave — che la corrente alternata ne eccitasse l'indotto solo quando questo nella rotazione aveva raggiunto velocità conveniente; richiedevano inoltre che la velocità di rotazione si mantenesse costante; una variazione repentina di essa — dovuta ad aumento od abbassamento rapidi della resistenza incontrata dal motore nel lavoro — bastava per arrestarlo (1).

. . . .

L'improvvisa nomina, che mi fu conferita, esce siffattamente dalla cerchia delle mie aspirazioni e supera talmente i miei meriti, che all'annunzio sono rimasto come stupefatto, e stetti quasi trepidante ad aspettare gli apprezzamenti. Però le parole benevole degli amici, che dentro di me suonavano come parole di incoraggiamento, mi recarono un vero conforto.

. . . .

La ringrazio, e le stringo cordialmente, fraternamente la mano.

Suo devmo

Galileo Ferraris

Ripr. da autografo di Galileo Ferraris, poss. dall'a. È parte di una lettera del 10 nov. 1896, in cui il Ferraris discorre della sua nom. a senatore del Regno.

Risolse la difficoltà Galileo Ferraris con la invenzione supremamente geniale del *campo magnetico rotante*, da lui ideata e realizzata nel 1885, descritta nell'*Annuario del R. Museo Industriale Italiano* di quell'anno, ed esposta — con la completa teoria — nella classica Memoria « *Rotazioni elettrodinamiche prodotte per mezzo di correnti alternate* », letta alla

(1) Il lettore si renderà conto di cotesto fatto capitale ove pensi al modo con cui un alternatore funziona da motore. Lo si supponga costituito da un induttore periferico fisso e da un indotto centrale girevole, ad elettrocalamite radiali. Le estremità libere di queste si trovano circondate da una corona di poli alternativamente nord e sud. La corrente alternata, circolando nelle elettrocalamite centrali, ne rende le estremità libere polarizzate alla medesima maniera — cioè pure in modo che un polo nord si trovi tra due sud, e reciprocamente — ma così che di ciascuna si inverte la polarità ad ogni mutare di senso della corrente. Si suppongano ora le elettrocalamite centrali disposte in modo che ciascuno dei poli di esse si trovi tra due dell'induttore: tutti i poli nord delle prime saranno respinti dai nord di questo ed attratti dai suoi poli sud; e tutti i poli sud delle prime saranno respinti dai sud dell'induttore ed attratti dai suoi poli nord. Il sistema — per tutte coteste azioni cospiranti — si metterà in moto, ed i poli della parte girevole verranno così a portarsi davanti ai poli opposti della fissa, oltrepassandoli per inerzia nella rotazione. Ovviamente, sarà necessario allora che nella parte mobile i poli repentinamente s'invertano, affinchè — diventando identici ai poli contro i quali si trovano — ne siano respinti, e possa così continuare l'impulso al movimento. La inversione di polarità deve dunque avvenire ad ogni intervallo di tempo uguale a quello che un polo mobile impiega a passare dalla regione di uno dei poli fissi a quella del successivo; condizione, cotesta, che si traduce nella necessità che siffatto passaggio avvenga precisamente nel tempo per il quale dura un mezzo periodo della corrente alternata, ed esige, a sua volta, una condizione opportuna di *sincronismo* del generatore e del motore.

R. Accademia delle Scienze di Torino nell'adunanza del 18 marzo 1888 e pubblicata — pag. 360 a 375 — nel volume XXIII degli *Atti* di quell'Accademia.

Quale fosse il principio di cotesta invenzione, che doveva fornire alla industria moderna il motore forse più diffuso — certo il più prezioso — tra quelli elettrici, diremo — dopo avere ricordato che se entro il filo di un telaio moltiplicatore si fa passare una corrente alternata, l'avvolgimento costituito da quel filo diventa, come l'elica dell'Arago, un magnete di cui ad ogni alternarsi di senso della corrente si alternano i poli — con le parole stesse usate dal Ferraris nella prima delle pubblicazioni ricordate.

« Se in uno spazio si sovrappongono due campi magnetici alternativi » — scriveva quel grande — « di egual frequenza aventi direzioni diverse e presentanti l'uno rispetto all'altro una differenza di fase, si ottiene in quello spazio un campo magnetico risultante che non si annulla in nessun istante e la direzione del quale ruota in un piano parallelo ai campi magnetici componenti, compiendo un giro in ogni periodo di questi. Se i due campi magnetici alternativi componenti seguono la legge sinusoidale, il campo magnetico risultante può per ogni punto rappresentarsi in grandezza e direzione col raggio vettore di una ellisse avente il centro in quel punto. Se in particolare i due campi componenti sono l'uno all'altro perpendicolari, se hanno eguali intensità e se la loro differenza di fase corrisponde ad un quarto di periodo, l'ellisse si riduce ad un cerchio, il che vuol dire che il campo magnetico risultante ha allora un'intensità costante ed una direzione la quale ruota con velocità uniforme compiendo un giro in ogni periodo. Se nel campo magnetico rotante si colloca un corpo conduttore, nascono in questo correnti indotte, in virtù delle quali il conduttore è trascinato nella rotazione. I due campi magnetici alternativi si possono produrre per mezzo di due correnti alternative circolanti in due spirali, gli assi delle quali comprendono fra loro p. es. un angolo retto; si possono dunque produrre rotazioni continue per mezzo di correnti alternative ».

Galileo Ferraris.
Da fotografia posseduta dall'a.

Babbage ed Herschell avevano fatto girare una calamita perchè trascinasse un dischetto nella rotazione; Galileo Ferraris ebbe trovato invece il modo — si può dire — di realizzare una calamita rotante immateriale, che, penetrando nella massa metallica, la travolgesse, istrumento geniale di conversione della potenza da elettrica in meccanica.

Nicola Tesla — dalmata per origine, stabilitosi in America ove divenne elettricista capo della potente Casa Westinghouse — pochi mesi dopo la seconda delle accennate pubblicazioni del Ferraris, la Memoria, cioè, del 1888, faceva brevettare — ed introduceva nell'industria — motori a campo rotante ana-

loghi a quelli del grande italiano (1); in breve volgere di tempo e comparivano motori a campo rotante ottenuti con più che due correnti, e Bradley in America, Haselvander — già ricordato a pag. 458 — e Dolivo Dobrowolski in Germania, Wenstrim in Isvezia, mostravano come con correnti polifasi e motori a campo rotante si potesse ottenere economia grande nella conduttura elettrica, il numero di fili della quale, mediante opportune concatenazioni — degli avvolgimenti nelle macchine, dei conduttori nelle linee di trasmissione delle correnti — si poteva ridurre a meno del doppio di quello delle correnti costituenti il sistema polifase — perfino a tre soli nel caso di un sistema trifase. — E siccome il motore a campo rotante, mentre offriva — col vantaggio di economia nel rame della conduttura — l'altro di funzionare per correnti alternate, si comportava come quello a corrente continua, sia quanto al potersi avviare spontaneamente — anche *sotto carico* — senza la necessità di fargli raggiungere *a vuoto* la velocità del sincronismo, sia quanto al non arrestarsi per variazioni repentine del carico; così quel motore — semplicissimo, per di più, nella sua costruzione — fu accolto con generale favore — si potrebbe, quasi, dire: con entusiasmo — dalla industria: ed in breve volgere di anni acquistò una diffusione, la quale meraviglierebbe, ove appunto non la spiegassero i pregi con cui esso rispondeva al bisogno dell'industria.

« Afferrata da scienziati e pratici l'importanza grandiosa del nuovo trovato, nei laboratori degli studiosi e nelle officine dei costruttori, il campo di Ferraris veniva ad infondere come un fermento vivificatore: e pochi anni appresso sorgeva come primo monumento, degno dell'uomo dalla cui mente sagace era sorto il germe fecondo, il grandioso impianto Lauffen-Francoforte il quale dimostrava all'umanità attonita che il problema della trasmissione dell'energia a grandi distanze era tecnicamente risolto » (2).

(1) La priorità dell'invenzione da parte di Galileo Ferraris non risulta solo, come generalmente si scrive, dal fatto che la Memoria dell'illustre nostro fisico comparve alcuni mesi prima del motore Tesla, ma anche — ed in modo assai cospicuo — dal fatto che le esperienze del Ferraris rimontavano, come si disse, al 1885. — Il Tesla, interpellato dall'a. nel 1893, per quale via fosse stato condotto alla invenzione del motore a campo rotante, gli dava una risposta, per vero, non completamente soddisfacente, dicendogli che vi era giunto considerando un problema di massimi e minimi. L'a. si guarderà bene dal mettere in rilievo la diversità di evidenza tra quella genesi e l'altra che il campo rotante ebbe nella mente del Ferraris, e che venne già riferita nella introduzione — pag. 56 e 57 —: solo registra la cosa dal punto di vista storico. — È curioso poi come il Ferraris, pur essendo conscio di tutta la genialità della invenzione, non ne avesse veduto la grande portata pratica. Nella monografia: *Rotazioni elettrodinamiche*, egli, dopo considerazioni e dimostrazioni, scriveva: « Queste relazioni ed i risultati delle esperienze riferite più sopra confermano, ciò che era evidente *a priori*, che un apparecchio fondato sul principio di quello da noi studiato non potrebbe avere alcuna importanza industriale come motore; e quantunque sia possibile studiare le dimensioni di esso in modo da aumentarne notevolmente la potenza e migliorarne moltissimo il rendimento, sarebbe inutile entrare qui in alcuna considerazione su tale problema ». Nello stesso ordine d'idee il Ferraris era ancora, nel 1891, quando a Francoforte funzionavano già dei motori a campo rotante, tra cui uno da 25 cavalli dinamici: « Io non credo all'avvenire industriale del campo rotante » diceva egli testualmente a chi scrive una mattina dell'agosto di quell'anno precisamente a Francoforte: « cotesto principio è atto al più alla costruzione di misuratori ». La morte lo rapiva violentemente — non ancora cinquantenne, il 7 febbraio 1897 — quando il *campo Ferraris* — come venne chiamato nel 1891 dalla scienza germanica — aveva già preso il suo posto d'onore nella industria.

(2) R. Arnò. *Commemorazione di Galileo Ferraris* fatta nell'assemblea generale dell'Associazione Elettrotecnica Italiana in Torino il 7 Marzo 1897. In Atti della *A. E. I.*, Vol. I, pag 1 a 20, Milano, tip. Bernardoni di C. Rebeschini e C., a. 1898. Da quella commemorazione ci piace riportare anche le seguenti parole, che fanno seguito immediato a quelle riferite sopra, e mettono in luce vera uno dei tratti del carattere nobilissimo, singolarmente eletto, del Ferraris: « Certo è che, se questa meravigliosa scoperta fosse stata protetta con brevetti di privativa, incalcolabile sarebbe il provento di utile materiale che ne sarebbe derivato all'inventore. Ma Galileo Ferraris lavorava per la scienza e non per la speculazione, e nessun mucchio d'oro lo avrebbe potuto appagare dell'intima soddisfazione che provava il suo gran cuore per avere compiuta, a favore dell'umanità, un'opera degna di lauro immortale. Tipo vero del Genio generoso, Egli non vedeva nelle sue scoperte che il *bello*, la grande manifestazione del pensiero umano e del *sapere* ».

Così il genio italiano, dal quale erano uscite le invenzioni della pila e dell'organo atto a generare meccanicamente la corrente continua, dava al mondo il motore elettrico senza del quale l'industria non avrebbe tratto completi dall'elettricità i benefici immensi che essa gli va portando. Solo il campo rotante con tutti i suoi pregi — tra cui è veramente degna di nota, ripetiamo, la grande semplicità della costituzione delle macchine basate su di esso (1) — poteva infatti permettere industrialmente la trasmissione elettrica dell'energia — e la conseguente distribuzione — a grande distanza.

Cotesta trasmissione — già ideata da W. Siemens fino dal 1867 — era stata chiaramante additata dall'esperimento del Fontaine. Poichè mediante una dinamo si convertiva in elettrica dell'energia avente forma meccanica; poichè, inviando la corrente, così generata, in un'altra dinamo, l'energia vi riprendeva la forma primitiva, si presentava come materialmente possibile il consumare in un luogo dell'energia prodotta in un altro, anche lontano: la questione si riduceva a dimensioni di linea per guidare dall'uno all'altro la corrente. E già verso il 1878 W. Armstrong aveva stabilito a mezzo miglio dal suo castello di Craigside presso Newcastle una turbina, la cui potenza — trasformata in elettrica da una macchina Siemens — veniva condotta al castello, ed ivi destinata ad usi svariati durante il giorno, alla accensione di trenta a quaranta lampade elettriche Swan durante la sera. Nello stesso torno di tempo Alessandro Siemens — come si apprende dalla comunicazione da lui fatta tre anni più tardi, il 18 maggio 1881, alla *Society of Arts* di Londra — impiantava al suo castello di Tunbrigde Wells delle dinamo — mosse dal vapore — le cui correnti —

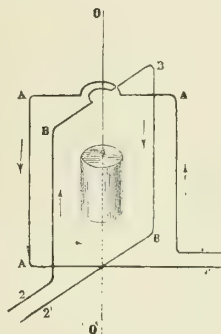
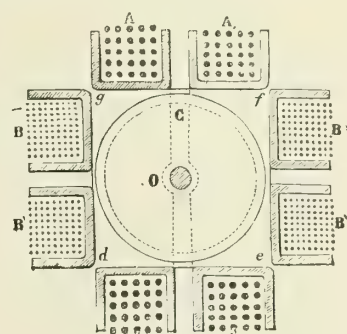



Fig. a — *Fig. b*

Schema e primo motore *a campo magnetico rotante* di Galileo Ferraris.

Ripr. delle fig. 2 e 3 della monogr. orig. *Rotaz. elettrodin.* citata nel testo.

Legg. espl. — Fig. *a*: « rappresenta schematicamente in prospettiva la disposizione di una prima esperienza. Con 1*AAA*1' e con 2*BBB*2' sono rappresentate due spirali piatte . . . Per rendere semplice la figura si è rappresentata una sola spira per ciascuna spirale, e si sono indicati in 1, 1' ed in 2, 2' i reofori ai quali le spirali sono collegate. I piani delle spire delle due spirali sono verticali e perpendicolari tra di loro; essi si tagliano secondo la verticale *OO'* che rappresenta l'asse dell'apparecchio . . .; nello spazio compreso è sospeso un piccolo cilindro *C* di rame, vuoto e chiuso, sostenuto da un filo *O* . . . ».

Fig. *b*: « Invece di appendere il cilindro conduttore mobile ad un filo o ad una disposizione bifilare, lo si può far portare da un albero metallico appoggiato su cuscinetti: ed allora, dando all'apparecchio maggiori dimensioni, se ne può formare un motore elettrico per correnti alternative . . . La figura è una sezione del motore fatta con un piano perpendicolare all'asse di rotazione. . . La parte mobile della macchina consiste in un cilindro di rame *C*, centrato su di un albero di ferro *O*, col quale è solidale. Il cilindro di rame è vuoto: ma è chiuso con fondi pure di rame, alle due estremità: ha il diametro esterno di 8, 9 centimetri e la lunghezza di 18 centim: pesa 4, 9 chilogrammi. L'albero *O* ha il diametro di un centimetro, è orizzontale e si appoggia sopra due cuscinetti. La parte fissa della macchina è costituita semplicemente da due coppie di spirali, che nella figura si vedono sezionate in *AA*, *A'A'*, ed in *BB*, *B'B'*. Una di queste coppie di spirali, la *AA*, *A'A'*, è disposta colle sue spire in piani verticali, e quando è percorsa da una corrente produce nel proprio interno, nello spazio ove si trova il cilindro di rame, un campo magnetico di direzione media orizzontale. L'altra coppia *BB*, *B'B'* invece ha le sue spire in piani orizzontali, e quando è percorsa da una corrente produce nello spazio occupato dal cilindro di rame un campo magnetico, del quale la direzione media è verticale . . . » G. Ferraris, *Rotazioni Elettrodinamiche*.

La messa in azione avveniva col far passare nelle spirali *AA*, *A'A'* la corrente primaria di un generatore secondario Gaulard e Gibbs — V. più avanti — e nell'altre la corrente secondaria, regolata in modo da presentare le condizioni indicate a pag 467.

(1) Un motore a campo rotante è — nella forma comune — costituito da una corona in lamiere di ferro nella quale si trovano gli avvolgimenti destinati a ricevere le correnti polifasi, e che è in tutto simile all'indotto del generatore. Nell'interno di quella — *stator* — sta un tamburo — *rotor* — girevole, formato da un nucleo anulare di ferro alla cui periferia sono sbarre di rame dirette secondo le generatrici del tamburo stesso, ed opportunamente collegate tra loro — alle teste — e, mediante anelli collettori, ad apparecchi atti a diminuire la intensità eccessiva delle correnti che vi s'inducono alla messa in moto: durante la marcia il *rotor* può anche venire chiuso su se stesso. — Notiamo che il campo rotante ha permesso al Brown e ad altri di studiare delle disposizioni pratiche comodissime per l'avviamento dei motori monofasi, i quali, grazie alla invenzione di Galileo Ferraris, furono tolti da quell'ostracismo al quale parevano condannati per una quantità di applicazioni.

impiegate di notte nell'accensione di due fari destinati a far crescere piante e frutti — erano di giorno inviate alla fattoria, lontana un quarto di miglio, ed ivi usate a scopo di lavori agricoli, ottenendosi di ridurre ad un terzo il personale adibito in essi.

Nel 1879 esperienze rimaste celebri si facevano a Sermaize nella Marne, movendo aratri con macchine Gramme, e riscontrando vantaggi assai grandi, oltre quello la cui speranza aveva indotto all'esperimento, e consistente nell'impiegare una forza motrice — quella dell'importante zuccherificio ivi esistente — durante i molti mesi per i quali — a motivo delle condizioni tutte speciali di quell' industria in Francia — essa sarebbe invece rimasta inoperosa.

All'esperimento di Sermaize ne tenevano dietro ben presto altri che destarono il più vivo interesse: alludiamo a quelli di Marcel Deprez, di cui gli ultimi vennero istituiti con larghezza eccezionale di mezzi, grazie alla cooperazione di una banca fra le più potenti del mondo — la Rotschild di Parigi. — Cominciati a Monaco nel 1882 colla trasmissione da Miesbach alla Esposizione della Capitale Bavarese — alla distanza di 57 chilometri —, proseguiti a Parigi e poi — 1883 — a Grenoble — tra questa città e Vizille, lontana 14 chilometri — si chiudevano con la famosa trasmissione di energia tra Parigi e Creil — distanti 56 chilometri — nella quale da una potenza di 116 cavalli assorbita dalla dinamo ad una delle estremità, se ne raccoglievano 52 all'altra. con un rendimento industriale del 45 per cento.

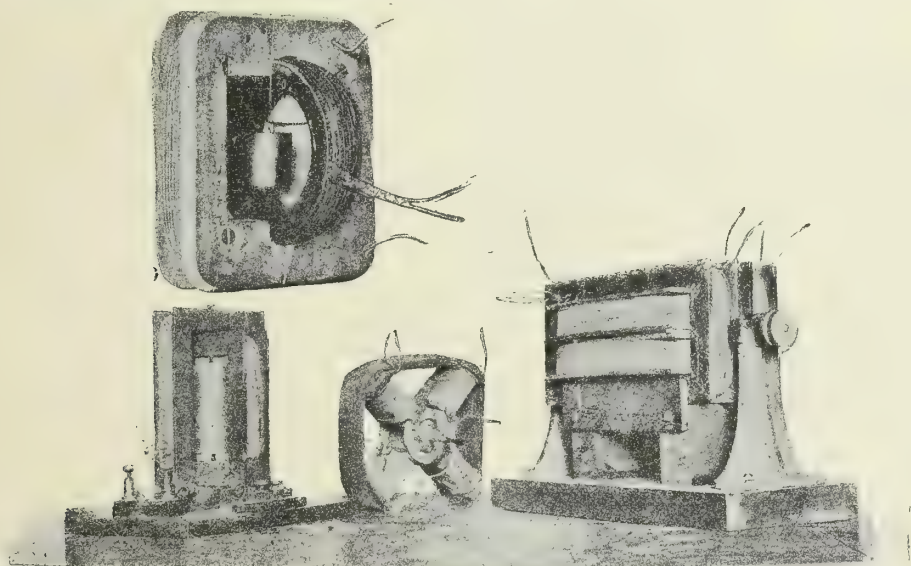
Non era elevato, per vero dire, quel rendimento. Ma, dalla trattazione analitica del problema, fatta dal Drepez in una importante monografia — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1882, T. XXV, p. 289 — e dalle esperienze, era venuto un grande beneficio: era risultata nettamente una condizione essenziale per il successo commerciale di cotesta nuova applicazione dell'elettricità; la necessità, cioè, di elevare al massimo possibile il potenziale (1).

A raggiungere questo scopo il Fontaine ed il Thury ideavano allora di mettere in serie più di una dinamo, come si fa per gli elementi di pila;

(1) L'energia elettrica — come qualunque forma di energia — ha due fattori: per quella che è nella corrente elettrica essi sono l' intensità della corrente stessa e la differenza di potenziale. Volendo confrontarla con energia idraulica, si potrebbe paragonare la prima alla massa dell' acqua cadente, la seconda all'altezza della caduta. Ora, è a sapersi che — secondo quanto si dira più avanti parlandosi della *legge del Joule* — nella propagazione della corrente lungo un conduttore, una parte dell'energia penetra in esso e si trasforma in calore; e, poichè essa viene a spendersi in cotesto riscaldamento del conduttore, va perduta come energia sotto forma di corrente elettrica. La quantità che così si perde è proporzionale al quadrato della intensità, ed, a parità di ogni altra condizione, è tanto maggiore quanto è minore la sezione trasversale del conduttore e maggiore la lunghezza di esso. Ne viene che per diminuire siffatta perdita, per una data distanza, non vi sono che due mezzi: fare grande cotesta sezione trasversale e piccola invece l'intensità. Evidentemente il primo si traduce in un maggiore costo della linea, e perciò ha dei limiti molto ristretti, essendo assurdo il solo pensare che nella trasmissione vengano impiegate sbarre di rame assai grosse, le quali importerebbero somme tali da rendere proibitiva la trasmissione. Non rimane dunque se non il ridurre la intensità, il che — essendo l'energia proporzionale al prodotto della intensità stessa per la differenza di potenziale — implica a sua volta una elevazione proporzionale di cotesto altro fattore dell'energia stessa, e cioè appunto della differenza di potenziale. Valga un esempio. Si abbia a trasmettere una potenza per la quale il prodotto dei due fattori sia 1000: ove la corrente sia ad una differenza di potenziale di 1000, avrà una intensità 1: ove fosse ad una differenza di potenziale di 10, la sua intensità dovrebbe essere di 100. Ora, poichè il quadrato di 1 ed il quadrato di 100 — che rappresentano i rispettivi valori della intensità della corrente nei due casi — sono ordinatamente 1 e 10.000, la perdita di energia sarà, per cotesto lato, nel primo caso diecimila volte minore che nel secondo. La trasmissione sarà quindi nella prima forma ben più conveniente che non nella seconda — sotto la quale l'impresa potrebbe anche riuscire economicamente proibitiva —.

e l'Italia vide intorno al 1890 impiegata con questo sistema — appunto ad opera del Thury — nella valle del Polcevera ed a Genova l'energia sviluppata su vicino al colle dei Giovi nell'impianto del Gorzente.

Ed impianti simili della *C. de l'Industrie Électrique* di Ginevra ebbero la Svizzera, la Spagna e forse altri paesi.

Ma la soluzione, per quanto ingegnosa, non era pratica. Anzitutto — per il modo con cui la ordinaria dinamo a corrente continua vuole essere costruita; per i limiti non elevati ai quali si può giungere nella generazione della corrente; per l'enorme costo d'impianto e di manutenzione a cui si andava incontro col moltiplicare le dinamo da mettere in serie — la facilità nella generazione della corrente ad alto potenziale diventava insufficiente; di più venivano a mancare semplicità ed economia nella distribuzione. Il

Gli apparecchi originari con cui Galileo Ferraris esperimentò col *campo magnetico rotante.*

Ripr. dal Vol. I degli Atti della Ass. Elettrotecnica Italiana, Commemorazione di R. Arnò citata nel testo — V. pag. 468 nota 2.ª —. Poco mancò che codesti apparecchi andassero perduti, a motivo della sommersione — avvenuta nel Porto di Genova, alla partenza — della nave su cui erano caricati per il trasporto all'Esposizione Colombiana del 1893, alla quale venivano spediti — riluttante, per modestia, il Ferraris — dal *R. Museo Industriale* di Torino, in seguito a ripetute istanze del Comitato di quella Esposizione fatte pervenire a mezzo del Governo degli Stati Uniti e dell'Italiano. Furono ripescati dopo una permanenza di alcune settimane nell'acqua, dalla quale subirono deterioramento.

pensiero dei tecnici, per ciò, si andava invece forzatamente fissando su l'uso delle correnti alternate. Queste permettevano, infatti, una trasformazione facile ed economica, così da potersi avere in buone condizioni il potenziale alto occorrente alla trasmissione e quello basso — non pericoloso — voluto negli apparecchi di consumo — motori, lampade, ecc — a cui si deve necessariamente mettere mano nel funzionamento.

Un nuovo organo veniva così, per forza di cose, ad affacciarsi nella tecnica — il *trasformatore* —.

Di esso, pertanto — le cui origini sono da ricercarsi in quelle del notissimo rocchetto del Ruhmkorff — è necessario parlare prima di completare questi rapidi cenni su la storia della trasmissione dell'energia mediante l'elettricità.

Dicendo dell'origine del rocchetto del Ruhmkorff, notiamo subito come l'anello del Faraday — fig. 1 a pag. 442 — aveva indicato il modo con cui

ottenere, da una corrente ad un potenziale, un'altra a potenziale più alto o più basso: bastava regolare il numero relativo delle spire — nelle due parti dell'anello — nella stessa proporzione in cui dovevano essere i potenziali. Il Masson, poi, per un complesso di studi, ad alcuni dei quali fu accennato — p. 351 — aveva applicato nel 1836 quell' esperienza del Faraday ad ottenere, dalla corrente della pila, delle correnti d' induzione, introducendo tra altro, nella disposizione del Faraday, un'importante innovazione: — poichè, per avere la corrente indotta occorreva interrompere quella della pila o ristabilirla, e corrente indotta si aveva ad ogni interruzione o chiusura del circuito di questa — egli aveva pensato di operare meccanicamente siffatta interruzione, valendosi di una ruota metallica dentata, su le cui sporgenze faceva sfregare una lamina a molla: la corrente, dovendo passare dalla ruota alla molla per portarsi al rocchetto di filo avviluppante il nucleo di ferro, veniva così — mantenendosi in moto la ruota — interrotta e ristabilita in maniera comoda e rapida. Il Masson stesso — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1842, T. IV, p. 129 — faceva anzi — più tardi — costruire dal Bréguet un apparecchio d'induzione nel quale, grazie ad un numero di spire del circuito indotto assai grande rispetto a quello percorso dalla corrente intermittente della pila, grazie alla rapidità della interruzione, si avevano, con grande frequenza, delle correnti di un potenziale assai elevato. Quell' apparecchio, come veniva modificato — 1851 — da un valente costruttore parigino, costituiva appunto il *rocchetto di Ruhmkorff*, così chiamato dal nome dell'illustre inventore.

Fig. 1. Fig. 2.

Generatore secondario di Gaulard e Gibbs.

Fig. 1 veduta d' assieme: fig. 2 particolare delle lamiere di rame costituenti le spirali.

Legg. espl. — V. più avanti descr. nel testo — *N* rappresenta il nucleo di ferro posto entro le spirali C, C e che vi si affonda più o meno secondo la potenza da impiegarsi.

Esso, formato da un nucleo — a fascio di fiili di ferro — avviluppato da un filo grosso di rame — rivestito di materiale isolante — avvolto ad elica ed — esternamente a cotesto avvolgimento — da un secondo filo sottilissimo di rame pure isolato, a numero enorme di giri — nei piccoli modelli il Ruhmkorff poneva già in principio da 8 a 10 chilometri di filo — munito di opportuno interruttore rapido della corrente di pila circolante nel filo grosso, e — idee avute dal Fizeau — di un condensatore di grande capacità — a foglia di stagnola e taffetas o carta imbevuta di resina — e ad armature comunicanti con punti opportuni del circuito della pila; il rocchetto di Ruhmkorff, diciamo, di cui tutti i trattati di fisica danno figure e descrizioni, divenne bentosto di uso comune per trasformare una corrente di pila a basso potenziale in una successione di correnti a potenziale altissimo, ed ebbe — ed ha — applicazione assai estesa nelle ricerche scientifiche e nella medicina. Il Foucault vi applicava un *interruttore a mercurio*, e verso la fine del secolo — quando la scoperta del Röntgen, e l'applicazione di quella dell'Hertz alla radiotelegrafia, determinavano la costruzione degli enormi rocchetti moderni — altri

interruttori vi si applicavano assai più rapidi, di tipo svariatissimo — come ruote a periferia composta di segmenti alternativamente isolanti e metallici, messe in azione da un motorino elettrico; ovvero piccole turbine a mercurio, il cui getto è diretto contro una corona di denti metallici triangolari — tra i quali interruttori, importantissimo e molto singolare quello del Wenhelt — 1899 — capace di dare fino a 2500 interruzioni per minuto secondo (1).

Del rocchetto del Ruhmkorff si andarono costruendo modelli di più in più grandiosi — quello celebre dello Spottiswoode, che pure gli ultimi del secolo XIX si lasciarono indietro assai, aveva la spirale indotta, ossia la esterna a filo sottile, formata con 340.000 giri, con una lunghezza complessiva di filo di oltre 400 chilometri, e dava scintille della lunghezza di un metro ed un quarto, con una corrente induttrice fornita da 30 elementi Grove —; e di esso si occuparono molti fisici anche tra i più illustri — il Cecchi ed il Poggendorff, il Foucault ed il Ritchie, l'Hearder ed il Ladd, per ricordare solo alcuni tra i primi per ordine di tempo — studiando sia i perfezionamenti che si potevano introdurvi, sia gli effetti delle scariche poderose, per tensione, che, mercè esso, si potevano avere anche da pochi elementi di pila.

Fig. 1.

Fig. 2.

Trasformatore Westinghouse.

Fig. 1 assieme — Fig. 2 lamiere formanti il nucleo di ferro.

Legg. espl. — La Fig. 1 rappresenta un gruppo di due trasform. Il nucleo di ferro è costit. in ciasc. da una pila di lamiere, perfor. per av. lo spazio destin. ai due avvolgimenti o rocchetti, che si vedono l'uno di fianco all'altro in ciasc. trasf., e di cui si vedono i capi — a sinistra quelli della spir. a filo grosso; nel mezzo quelli dell'altra. — La Fig. 2 mostra le lam. — perforate per dar passaggio agli avvolg. —: di essa la parte sup. dà la forma, l'inf. indica come ne vengano ripieg. alcune parti per metterle in posto in modo che il nucleo centr. si trovi attraversare l'avvolgim. primario ed il secondario.

Nello schema della sua costruzione, poi, esso veniva ad essere il trasformatore di cui aveva bisogno l'industria per la trasmissione a distanza dell'energia sotto forma di corrente elettrica. Volendosi — con l'elevare il potenziale — ridurre l'intensità, non si aveva che far circolare la corrente, quale era fornita dal generatore, nella spirale a filo grosso; quella a filo sottile avrebbe fornito l'energia a potenziale elevato, da guidarsi, per la linea, alla stazione di consumo: occorrendo quivi abbassare il potenziale, sarebbe bastato introdurre nella spirale lunga e sottile la corrente a potenziale elevato; dall'altra elica si sarebbe raccolta l'energia a potenziale basso.

Impiegando però come generatrice una macchina a corrente continua, sarebbe occorsa — come nell'esperienza del Faraday, o nell'apparecchio del Masson e del Ruhmkorff — l'interruzione della corrente stessa, e la interruzione

(1) Ha ricevuto diverse forme. Una assai comune è quella di un recipiente contenente acqua acidulata con acido solforico, nella quale pescano un'ampia lamina di piombo ed un sottile e corto filo di platino posto entro un tubetto coibente, da cui la estremità inferiore del filo sporge per brevissimo tratto verso la lamina di piombo. Facendo comunicare la prima col polo negativo, il secondo con il positivo di una batteria di una cinquantina di accumulatori messi in tensione, ed interponendo nel circuito una resistenza che presenti autoinduzione, si ha il fenomeno singolare della interruzione della corrente con una frequenza che può giungere appunto alle 2500 volte per minuto secondo.

avrebbe dovuto essere incessante e rapida; condizione, cotesta, possibile in astratto, non raggiungibile invece nella pratica, a motivo sia di inevitabili perdite di potenza dovute a siffatte interruzioni, sia delle scintille che si produrrebbero ad ogni interruzione, poderose troppo — per essere compatibili con l'uso di apparecchi industriali — a motivo della grande quantità di energia in giuoco allorchè si tratta appunto delle correnti dell'industria.

Agli Stati Uniti d'America.
Collocazione dei trasformatori da appartamento.
Da pubbl. della Casa Westinghouse.

Era pertanto necessario ricorrere alle correnti alternate, avendosi naturalmente, nel loro annullarsi ad ogni mutare di senso, nel loro variare continuo d'intensità, le condizioni necessarie a far agire un apparecchio ad induzione analogo al rocchetto del Ruhmkorff senza la complicazione — proibitiva, giova ripeterlo, nel caso dell'esercizio industriale — di un interruttore.

Lo fece Luciano Gaulard, antico allievo dell' *École des arts et manufactures*, inventando quel *generatore secondario* nel quale al nome di lui è associato l' altro del Gibbs, unicamente perchè questi, banchiere, aveva fornito capitali.

Il generatore secondario di Gaulard e Gibbs — costituito schematicamente da un nucleo di ferro intorno al quale si avvolgono due eliche formate molto ingegnosamente da dischi in rame sovrapposti, isolati gli uni dagli altri, e così disposti che i dischi stessi, o spire, dell'una elica comprendono quelle dell'altra — faceva la sua prima apparizione alla Esposizione Internazionale di Londra del 1882 sotto forma rudimentale, e ricompariva — perfezionato — a quella di Elettricità tenuta in Torino nel 1884, dando luogo ad esperimenti memorandi (1) ed a misure da parte di una giuria composta di uomini come il Ferraris ed il Roiti, il Weber ed il Voit, il Tresca ed il Parent. Esso aveva mostrato all'evidenza come si potesse trasmettere l'energia sotto forma di corrente ad alto potenziale e distribuirla a basso (2).

(1) Il primo esperimento si fece il 25 settembre, ed occasionò un articolo molto interessante di Giuseppe Colombo, apparso nel *La Lumière Électrique* dell' 11 ottobre 1884 — pag. 43 a 46 —. La corrente — alternativa — generata al potenziale di 2000 *volta* nella galleria dell' Elettricità all'Esposizione di Torino, era inviata alla stazione di Lanzo — distante 34 chilometri circa — ed ivi guidata alle spirali primarie di apparecchi Gaulard: le correnti fornite dalle spirali secondarie venivano impiegate ad accendere lampade ad incandescenza — da 16 ed 8 candele, per un complesso valutabile a 60 da 16 candele — ed una lampada ad arco.

(2) Tentativi erano stati fatti prima — partendo da punti di vista diversi — dal Page, da Carlo Bright, dall'Harrison, dal Jablochkoff, dallo Strube, dal Fuller, per applicare le spirali del rocchetto del Ruhmkorff alla divisione della corrente destinata alla illuminazione. In nessuno di essi è però, nemmeno lontanamente, il concetto che guidò il Gaulard. Le esperienze di Lanzo diedero poi un risultato soddisfacente anche dal punto di vista del rendimento, giacchè questo giunse, per il trasformatore, all'89 per cento. Ciò non impedì che, della

« Per una fatalità il Gaulard, che aveva obbligato l'intero mondo elettrico a riconoscere l'immensa importanza dei trasformatori a corrente alternativa, incespicava poi in alcune modalità nel loro impiego, perdeva tempo e subiva la mortificazione di doversi arrestare mentre altri avanzavano rapidamente e trionfalmente nel cammino nel quale egli si era messo per il primo. Allora lo sconforto e le difficoltà materiali e finanziarie finirono per portare il povero inventore ad uno stato di sovreccitazione di mente che lo condusse al manicomio, ed un anno dopo alla tomba... Ma se oggidì noi vediamo moltiplicarsi e diffondersi le distribuzioni di elettricità per mezzo dei trasformatori e delle correnti alternative, le quali in America, per opera delle Società Westinghouse e Thomson Houston, in Inghilterra per opera del Ferranti, nell'Europa continentale per opera della Casa Ganz, trasformano ed utilizzano migliaia e migliaia di cavalli dinamici, noi, senza nulla detrarre al merito degli altri inventori e continuatori, non possiamo nel tempo stesso impedirci di ripensare con immenso compiacimento alla nostra Esposizione di Torino che fu sede dei primi esperimenti, e di appendere con sincero rimpianto e con perenne gratitudine, una corona sulla tomba di Luciano Gaulard, che ebbe fin d'allora e diffuse la fede nel successo » (1).

Commutatrice Alioth.
Da pubbl. della Casa costruttrice.
Legg. espl. — È una dinamo che, ricevendo correnti alternate mediante gli anelli fissati su l'albero — dal lato a sinistra, nella figura — fornisce, alle spazzole poste contro al collettore — dalla banda opposta — della corrente continua.

Deri e Zipernowsky, Kennedy, Elihu Thomson, de Ferranti, Swinburne, Kapp, Mordey, Westinghouse, Cail Helmer e molti altri portarono infatti per-

nuova invenzione, il Deprez scrivesse in modo sprezzante nel *La Lumière Électrique* — Vegg. T. XIV, a. 1884, p 41 — l'Hospitalier in modo canzonatorio nell'*Électricien*. Ricorderemo da ultimo come il generatore del Gaulard fornisse a Galileo Ferraris l'occasione di uno dei suoi lavori più belli ed importanti. Egli istituiva, infatti, una teoria completa del trasformatore, la quale lo conduceva a scoprire un fenomeno, sino ad allora ignorato e di importanza capitale per la pratica — lo spostamento di fase che esiste tra la differenza di potenziale e la intensità della corrente primaria —. Di quel lavoro — *Ricerche teoriche e sperimentali sul generatore secondario Gaulard e Gibbs* — presentato all'*Accademia delle Scienze* di Torino l'11 gennaio 1885, seguito da una monografia pubblicata nello stesso anno nel *La Lumière lectrique* in cui si confrontavano il tipo di trasformatore del Ganz con quello del Gaulard, e, due anni dopo, da una sagacissima ricerca teorica e sperimentale *Sulle differenze di fase delle correnti, sul ritardo dell' induzione e sulla dissipazione di energia nei trasformatori*; di quel lavoro, diciamo, scriveva uno tra i più distinti allievi di lui, Riccardo Arnò, nella commemorazione già citata: « Questo lavoro è un vero monumento di quella profonda conoscenza che Galileo Ferraris aveva della fisica matematica, della meravigliosa abilità con cui egli sapeva servirsi del calcolo come strumento, e della lucidità con la quale ei sapeva interpretare i risultati, non perdendo mai di vista l'essenza del fenomeno fisico che egli stava studiando..... Queste ricerche ebbero nell'Elettrotecnica un' importanza immensa, poichè esse furono quelle che per le prime richiamarono l'attenzione degli elettricisti sull' elevato rendimento dei trasformatori e lasciarono intravvedere la possibilità del trasporto economico dell'energia elettrica a distanza ». Sul particolare dell' elevato rendimento la storia deve registrare che i risultati a cui era giunto Galileo Ferraris non mancarono di destare l'ironia di qualche straniero: il Ferraris aveva trovato un rendimento superiore a quello indicato dallo stesso inventore: ciò costituiva l' essere « più divoto dei santi ». Le accurate misure istituite a Francoforte s. M. nel 1893 non solo diedero luminosamente ragione al grande italiano, ma mostrarono che egli era stato perfino troppo prudente.

(1) Galileo Ferraris. Necrologia di Luciano Gaulard. Nel Vol. XIV del periodico *L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali*.

fezionamenti notevoli nei trasformatori, e si ebbero così i tipi più svariati — generalmente a circuito magnetico *omogeneo*, o, come dicesi impropriamente, *chiuso*, quale era l'anello del Farady; però anche, come nel *porcospino* dello Swinburne, a circuito magnetico non omogeneo, quale è il rocchetto del Ruhmkorff, ove il flusso, uscendo da un polo si porta all' altro attraverso all'aria; a nucleo, di ferro fisso completamente, od in parte mobile così da permettere la regolazione secondo la potenza che il trasformatore è chiamato a fornire. — Quando — 1891 — si trattò della trasmissione di energia mediante correnti trifasi, Dolivo Dobrowolski dell'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft* combinava tre trasformatori monofasi in modo da farne uno adatto al nuovo sistema, ed in seguito trasformatori polifasi erano realizzati dalla Ditta Siemens e Halske e dalle altre grandi Case costruttrici. E Chas F. Scott, nella sua interessante monografia *Poliphase Transmission*, letta il 1 marzo 1894 a Washington nella riunione della *Nat. Elec. Light Association*, insegnava a trasformare le correnti bifasi in trifasi e reciprocamente, semplicemente col regolare il numero di spire — ed accoppiarle opportunamente — delle eliche primarie e delle secondarie.

Tipi affatto diversi da cotesti *trasformatori statici* si andavano, poi, creando coi *motori-dinamo* e coi *convertitori rotativi*, destinati ad ottenere da un tipo qualunque di corrente — continua od alternata, monofase o polifase, a basso potenziale o ad alto — un altro tipo di corrente pure qualsiasi.

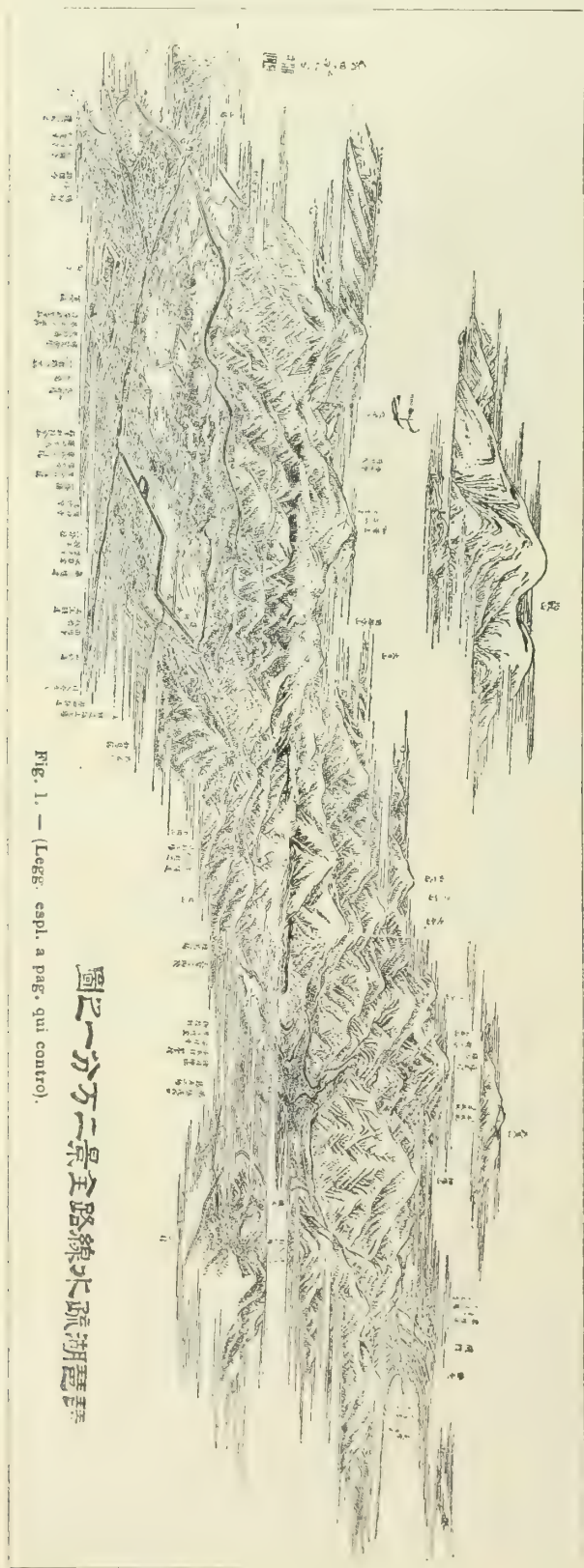



Fig. 1. — (Legg. espl. a pag. qui contro).

Di cotesti congegni tanto importanti per l'industria moderna avevano emesso l'idea fondamentale W. Thomson alla riunione di York — agosto e settembre 1881 — della *British Association* (1) e Gustavo Cabanellas alla seduta del 1.° ottobre del Congresso Internazionale degli Elettricisti tenuto a Parigi

Fig. 2.

nel medesimo anno (2). Il primo, ragionando e discutendo su trasmissione di energia a 80.000 *volta*, diceva: « pensate ad un domestico che tolga la polvere alle parti metalliche di una lampada ad 80.000 *volta* ! ». E soggiungeva

Fig. 3.

Fig. 4.

Una trasmissione d'energia elettrica al Giappone.
L'impianto del Lago Biwa nell'Isola Nipon — anno 1890. —
Da disegni e fotografie fav. cortes. dall'ill. ing. giapponese sig. Tanabe, professore d'ingegneria civile all'Università di Tokio, autore del progetto e direttore dell'impianto.
Fig. 1: Decorso del canale. — Fig. 2: Il lago Biwa al principio del canale. — 3: Piano inclinato sul quale si fanno scendere med. carri le imbarcazioni con le merci. — Fig. 4: Stazione gen. della potenza elettrica per il moto dei carri lungo il piano inclinato.

non doversene ammetrere più di 200 nelle case e nei negozi, mentre poi « in una officina elettrica 80.000 non sono più pericolosi di una sega circolare ». Onde, era tratto ad ideare che una dinamo avesse a ricevere l'energia direttamente dalla linea ad 80.000 *v.* ed a servire per farne agire un'altra

(1) V. *Report of fifty-first Meeting*, London, Murray, 1882. Pag. 518.

(2) CABANELLAS. *Organisation automatique du transport et de la distribution de l'Énergie*, Parigi, *Imprimerie Nationale*, 1881, pag. 26.

che generando corrente a 200 od a 100 servisse ad alimentare gli apparecchi di consumo. Il secondo, dalla considerazione della necessità di funzionamento automatico ed indipendente delle diverse specie di ricevitori locali di energia su un'unica condotta, era portato alla concezione dei suoi *récepteurs-robinets à debit constant de même sens ou alternatifs*, nella quale l'idea del grande W. Thomson di un motore alimentato dalla corrente di linea e destinato a fornire il tipo di corrente adatto al consumo veniva a generalizzarsi.

Si andarono così introducendo nella industria delle coppie motore-dinamo, con cui — evidentemente — si poteva operare la trasformazione della corrente, qualunque fosse il tipo di quella da convertirsi e dell'altra da ottenersi.

Cotesta disposizione, già preziosa, ebbe tosto miglioramenti radicali che portarono economia di spese d'impianto e di spazio, accrebbero il rendimento. Lasciando apparecchi affatto speciali che pure hanno storicamente la loro importanza — quali il curioso *panchahuteur*, con cui Hutin e Leblanc ottenevano la trasformazione di corrente continua in corrente polifase e reciprocamente, o la disposizione con cui il Pollak raddrizzava le correnti alternate in modo da potere valersene per la carica degli accumulatori — è a segnalarsi il *rotary converter* nel quale il motore e la dinamo sono genialmente compenetrati in una macchina sola.

Tipica, per questo rispetto, la macchina Schuckert che figurava all'Esposizione di Francoforte del 1891. Partendosi dal concetto che nell'indotto della dinamo a corrente continua si generano in realtà delle correnti alternate, in fase diversa sulle varie parti dell'anello o del tamburo rotante, si era visto che, collegando tre punti dell'indotto equidistanti tra loro — contando le distanze lungo la periferia — ciascuno con uno di tre anelli fissati sull'albero, si potevano raccogliere dalla macchina delle correnti trifasi: che, collegandone invece similmente due, situati alle estremità di un diametro, si poteva avere della corrente monofase; che, raddoppiando cotesta disposizione e scegliendo i diametri in modo che fossero tra loro perpendicolari, se ne poteva ottenere un sistema bifase. Si era così costituita una macchina — simile ad una dinamo bipolare a corrente continua, ma avente ad un tempo e il consueto collettore e, dalla banda opposta, un sistema di anelli comunicanti con punti opportuni dell' avvolgimento indotto, ai quali anelli si appoggiavano sfregatoi facenti capo a dei fili di linea — atta a trasformare la corrente continua, alternata semplice, bifase, o trifase in corrente di una qualunque delle altre tre specie, od anche in tutte queste contemporaneamente; atta, al tempo stesso, a funzionare come motore alimentato da una qualunque di esse. Poche macchine sono uscite della mente e dalla mano dell'uomo paragonabili a quella per meravigliosa varietà di attitudini.

Convertitrici analoghe costruirono pure l'*Allgemeine* di Berlino, la Casa *Alioth* di Basilea, e soprattutto le grandi Case americane, destinandole principalmente alla commutazione di correnti alternate — generalmente trifasi — in corrente diretta, o — come suole dirsi più comunemente — continua.

Con tutto cotesto lavorio — al quale parteciparono matematici e sperimentatori, e che ha reso illustri i nomi che siamo andati ricordando e con essi altri, fra cui, per gli studi su le correnti alternate, brilla fulgidissimo

quello dello Steinmetz — si rese possibile quel miracolo della scienza e della tecnica che è nella trasmissione a distanza e distribuzione dell'energia.

Ben presto, dalle nevi, di cui — in inverni trascorsi da secoli — si erano ammantate le Alpi, ebbero calore, luce, moto, ricchezze, le regioni vicine; delle cascate, che negli ozi di Tivoli deliziavano il vate romano, la città eterna vide operante tra le sue vie la potenza; nelle poetiche tenebre delle notti d' oriente l' Acropoli di Atene brillò circonfusa dal candido bagliore dell'arco voltiano; il continente nero — nelle miniere dell'estremo mezzodì, e per le vie delle città sorgenti nella terra voluttuosa che fu dei Faraoni — solcarono i fili adducenti, docile al volere dell'uomo, la potenza vivicatrice a macchine e lampade; si pensò che l'energia del Niagara avesse a muovere a New-York — a cinquecento miglia di distanza — i modelli meccanici riproducenti il grandioso impianto con cui era asservita all'industria una parte della potenza del « tuono delle acque », e che questa, trasmessa mediante un cavo transatlantico, avesse ad animare l'apparecchio telegrafico nel nuovo mondo; si pensò perfino che a spingere la locomotiva — tra Chicago e S. Louis — fosse inutile portarle il carbone, e fosse invece miglior partito bruciare quello nelle viscere stesse della terra, guidandone al treno — trasformata in elettrica — la energia. E prima ancora che Paderno, Vizzola, Tivoli, Chèvres, Niagara Falls vedessero ruotare vertiginosamente su se stessi gli istrumenti della civiltà novissima e sprigionarsi le scintille che il genio umano aveva saputo trarre dall'acqua cadente, nel *paese del sole nascente* — a Tokio — le officine erano vivificate dalla potenza domata lontano, su le sponde belle del grande lago della industre Nipon — il Biwa —.

Enrico Carli.

A stabilire con quanta rapidità si diffondesse cotesta forma di trasmissione e distribuzione dell'energia, basterà qui il ricordare come da un elenco pubblicato dalla *General Eletric Company* (1) si rilevi che, dal 1893 — impianto di Redlands in California per trasmissione di 1670 cavalli dinamici alla distanza di 21 miglia — alla metà agosto del 1900, quella Società ebbe fatto, essa sola 244 impianti a correnti polifasi, per un complesso di 339.121 cavalli dinamici, arrivando anche — nella trasmissione elettrica d' energia idraulica — in quello della *Southern California Power Co.*, 1897 — ad una distanza di 80 miglia. E si tratta di una sola Compagnia! Si aggiungano a quelle cifre le altre relative agli impianti della *Westinghouse El. a. Man. Co.*, delle altre Case americane, di tutte le Case europee, e sarà facile comprendere a quali cifre sbalorditive si arriverebbe con una statistica completa ed esatta — dato, stiamo per dire, che una statistica completa ed esatta fosse possiblie —.

(1) *General Electric Company, Power and Mining Department, Bulletin N. 4230, Supersedes Bulletin N. 4166,* 25 agosto 1900. *List of Polyphase Power Plants.*

In tutto cotesto movimento, che è imponente fenomeno tecnico ed economico ad un tempo, l'Italia ebbe parte assai onorevole, grazie specialmente agli impianti di Paderno, di Vizzola, delle linee ferroviarie varesine e valtellinesi. « Si può avere visitato l'impianto al Niagara; si possono avere veduti i grandi impianti di Chèvres e di Rheinfelden: quando si passano le Alpi si trova che vi è ancora qualche cosa da apprendere »: così Silvanus Thompson nell'*Electrical Review* dopo la visita degli elettricisti inglesi a quei nostri impianti. Accennando a cotesta gloria nostra, un nome di pioniere deve essere, a titolo di onore, ricordato: quello di Enrico Carli — bella figura di uomo eminente per generosità di animo, amore di patria e civile coraggio (1), ingegnere idraulico tra i sommi d'Italia — che fino dal 1888 ideava e progettava la utilizzazione, per mezzo della corrente elettrica, dell'energia delle rapide di Paderno.

Quali fossero poi, alla fine del secolo — sono i medesimi tuttora — i sistemi più diffusi con cui si trasmetteva a distanza e si distribuiva l' energia elettrica, potrà — dopo le cose dette — comprendersi facilmente.

L'energia generantesi — per conversione in elettrica di energia meccanica sviluppata da motori idraulici o da motori termici — in una *centrale*, sotto forma di corrente alternata — generalmente polifase — a basso potenziale e trasformata in corrente ad alto — ovvero, come fece primo, crediamo, Carlo Brown con gli alternatori di Paderno, generantesi direttamente a potenziale alto — viene, per i fili di linea, trasmessa alla località voluta, e quivi — *stazione ricevitrice* — trasformata in corrente a potenziale basso, la quale, poi, si diffonde nella *rete di distribuzione*.

Questa suol farsi o in modo — *distribuzione in serie* — che la corrente passi intera dall'uno all'altro degli apparecchi di consumo — muniti di speciale disposizione, per la quale, ove qualcuno fra essi si guasti, o cessi dal funzionare, la corrente non venga interrotta —; ovvero — *distribuzione in derivazione* — in modo che ciascun apparecchio riceva dai conduttori di linea quella parte di corrente della quale abbisogna; ovvero anche — sistema Hopkinson, ed Elihu Thomson, per *distribuzione a tre, quattro, cinque fili* — con un sistema misto, nel quale più gruppi derivati sono messi tra loro in serie, facendosi che ogni apparecchio sia indipendente dagli altri coll'usare un medesimo filo quale conduttore di andata della corrente per un gruppo e quale conduttore di ritorno per la corrente del successivo, e ricorrendosi ad opportuni *egualizzatori di tensione* — Elihu Thomson, Lahmeyer ed altri — per regolarizzare automaticamente la differenza di potenziale quando essa tende a mutare, causa il variare — nel numero, nella potenza e nel consumo — degli apparecchi in azione.

Il sistema di distribuzione in serie è, praticamente, limitato alla illuminazione per archi, quale viene generalmente usata nelle pubbliche vie: quello in derivazione, e l'altro a più fili — assai maggiormente diffuso nelle grandi reti — vengono impiegati, invece, nella illuminazione ad incandescenza, nella distribuzione per il funzionamento di macchine — siano esse fisse in offi-

(1) Combattè, con Garibaldi, a Montesuello: ebbe due volte la medaglia al valore civile per atti di coraggio compiuti a Verona durante l'inondazione del 1882.

cina, o destinate alla trazione — di apparecchi elettrotermici od elettrochimici, e in generale in tutte le altre grandi applicazioni industriali della elettricità.

La immensa varietà di queste, e la estensione delle reti di distribuzione, mostravano poi l'opportunità di porre — secondo le circostanze — tra la *centrale di distribuzione* e gli apparecchi di consumo, delle *sottostazioni*, alle quali l'energia è portata a potenziale ancora alto, ed in cui essa — mediante *trasformatori statici ad induzione* — viene ridotta al potenziale di distribuzione, ovvero anche — mediante *convertitori rotativi* — trasformata in corrente diretta o continua, vogliasi per essere distribuita come tale, vogliasi anche perchè serva così a caricare batterie di accumulatori — destinati a venire in soccorso nell'alimentazione della rete, sia quando avesse a mancare il funzionamento delle dinamo. sia in quei brevi intervalli nei quali la richiesta di energia superasse la potenzialità di queste. — Per tale modo la rete di *conduttura primaria* — partente dalla centrale di distribuzione — serve alla alimentazione delle sottostazioni: ciascuna di queste provvede poi a quella della parte di apparecchi di consumo che le stanno intorno, raggruppati da una rete di *conduttura secondaria*.

Così — mercè cotesto organismo tanto complesso, ma che l'uomo ha saputo rendere tanto armonico nelle sue parti, tanto elastico nel suo funzionamento — avviene che — della energia dell'acqua cadente tra dirupi selvaggi nel luogo più inospite — la lampada brillante nel palazzo signorile della città ed il trapano con cui il chirurgo perfora il dente delicato, come la locomotiva rimorchiante il pesante treno di merci o la imponente convertitrice di un grande stabilimento elettrochimico, possano prendere contemporaneamente quel tanto di cui abbisognano in ogni momento; che, di essa, migliaia di esseri umani possano valersi contemporaneamente — governandola nel modo il più semplice a norma del bisogno — per usi e lavori i più disparati per natura, per importanza, per entità di potenza richiesta.

VI.

Gli effetti calorifici della corrente elettrica ed i suoi effetti chimici.

Le leggi del Joule e del Faraday. Le applicazioni.

Tosto dopo la invenzione della pila si scoprirono effetti calorifici della corrente. Anzi Fourcroy, Vauquelin e Thenard — *Ann. de Ch.*, a. 1801, T. XXXIX, p. 103 — trovavano che le pile composte di elementi a lamine estese valevano a rendere incandescenti i fili metallici meglio di quelle formate dal medesimo numero di coppie a lamine più piccole. Humphry Davy, l'eminente professore di chimica della *Royal Institution*, osservava (1) differenze negli effetti secondo che nella batteria voltiana si usava acqua piuttosto che acido nitrico diluito o soluzione di clorato di soda; che « quando

(1) « *Account of some Experiments made in the Laboratory of the R. Institution, relating to the agencies of Galvanic Electricity, in producing Heat, and in effecting Changes in different fluid substances* » in *R. Instit. Journal*, a. 1802, p. 209 a 213. Si trova, di cotesta Memoria, una buona versione in *Ann. d. Ch.*, a. XI (1802), T. XLIV, p. 206 a 216.

una batteria galvanica composta di lamine larghe era in piena azione un filo di ferro lungo due piedi e di $^1/_{80}$ di pollice di diametro... acquistava un grado di carlore bastante a far bollire dell' acqua con cui era stato messo a contatto ». Ed altre esperienze interessanti istituiva quel sommo scienziato, il grande maestro del Faraday, studiando gli effetti di ebollizione provocati dai fili di ferro attraversati dalla corrente su l'alcole, su l'etere, su l'olio di ulive. Osservava pure che « quando due pezzetti di carbone ben bruciato, od un pezzetto di carbone ed un filo metallico terminano il circuito nell'acqua si producono vive scintille », arroventava con la corrente il carbone fino a mantenerne la combustione, e da altri fatti riteneva egli pure si potesse argomentare che « la elettricità prodotta dalle pile composte con lamine ampie è più grande che in quelle di cui le lamine sono strette ».

Pochi anni dopo — *Ann. de Chimie*, a. 1813, T. LXXXVII, p. 123 e seg. — si constatava l' influenza della conducibilità del metallo e del diametro del filo su la facilità del rendere incandescenti cotesti fili metallici e su la entità dell'effetto, e si riusciva a fondere l'osmio e l'iridio.

Queste ed altre importanti osservazioni erano state fatte sul calore svolto dalla corrente.

Bisogna però venire fino al 1840 per trovare la legge di cotesto importante fenomeno. La dava il Joule in una classica monografia — « *On the Production of Heat by Voltaic Electricity* » — che P. M. Roget presentava alla *Royal Society* nella seduta del 17 dicembre di quell'anno.

« Le ricerche dell' Autore » dice il riassunto dei *Proceedings*, T. IV, a. 1837-1843, p. 280 « sono dirette ad investigare le cause dei diversi gradi di facilità con cui le varie specie di metalli, di differenti dimensioni, sono riscaldate dal passaggio della elettricità voltiana. L'apparato impiegato consiste in un rocchetto del filo da assoggettarsi all'esperimento, posto in una tazza di acqua, le cui variazioni di temperatura venivano misurate mediante un termometro molto sensibile immerso in essa, ed un galvanometro per indicare la quantità di elettricità inviata attraverso il filo, la quale si valutava dalla quantità di acqua decomposta da cotesta elettricità. La conclusione dedotta dai risultamenti delle esperienze si è, che l'effetto calorifico di quantità uguali della elettricità trasmessa sono proporzionali alle resistenze opposte al suo passaggio, qualunque siano la lunghezza, lo spessore, la forma, o la specie, del metallo chiudente il circuito; inoltre che, *coeteris paribus*, cotesti effetti sono proporzionali al quadrato — *in the duplicate ratio* — delle quantità di elettricità trasmessa: e conseguentemente anche nel rapporto dei quadrati della velocità di trasmissione ».

Le conclusioni di quella monografia — pubblicata poi per esteso nel *Philososphical Magazine* dell'anno successivo — conclusioni che il Joule applicava tanto al circuito esterno quanto a quello della pila, ricevevano conferma luminosa pochi anni dopo — 1853 e 1854 — da esperienze del Favre già accennate — pag. 226, nota 1.ª — e più dalle *Recherches thermiques sur les courants hydroèlectriques* — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1854, T. XL, p. 293 — da lui eseguite mediante il calorimetro a mercurio (1).

(1) V. pag. 222 e 226.

Esse divennero uno dei capisaldi della scienza e dell'industria. Alla prima fornirono, tra altro, il mezzo — *metodo calorimetrico* — di misure assolute su la intensità delle correnti — mezzo prezioso perchè valevole per le correnti continue come per le alternate — riducendo la valutazione di codesta intensità a valutazione di una quantità di calore, per la quale si idearono disposizioni assai ingegnose e comode; e fornirono pure la base per apparecchi utilissimi da laboratorio, tra cui eccelle quello — *elettrocalorimetro* — del Roiti (1). Alla seconda fornirono la norma per la risoluzione di una quantità dei problemi con cui essa è giornalmente alle prese, e tra i quali basterà accennare alla calcolazione di elementi delle dinamo, dei motori, dei trasformatori, ed a quella degli apparecchi di riscaldamento elettrico, senza contare che lo studio della quantità del calore svolto dalla corrente ha additato, troducendola, per di più, in cifre, una norma costruttiva importantissima per tutti gli organi in cui si ha induzione — quella della divisione, secondo certe direzioni, in lamine od in fili delle masse metalliche sottoposte ad essa —. Così si fanno laminati i nuclei delle dinamo, dei motori, e dei trasformatori — per le dinamo e per i motori nelle parti in cui appunto possano indursi correnti — con utile nel rendimento e nella bontà del funzionamento (2) quando lamine e fili siano reciprocamente isolati.

Ad un'epoca precedente di non molto quella in cui il Joule compiva la importante ricerca, il Peltier — « *Nouv. exp. sur la caloricité des courants électr.* », in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1834, T. LVI, p. 371 a 386 — parendogli assurdo che una corrente elettrica non potesse produrre se non riscaldamento, che può andare fino alla fusione ed alla vaporizzazione, il che voleva dire « rompere i rapporti dell'affinità nei corpi », mentre « una corrente elettrica può

(1) La misura assoluta si riduce a valutare, mediante l'aumento di temperatura che la corrente elettrica produce in una massa conosciuta di acqua, la quantità di calore che la corrente stessa sviluppa percorrendo una spirale immersa nel liquido. Quanto all'*elettrocalorimetro* del Roiti, ecco come l'illustre fisico ne espone il principio — *Nuovo Cimento*, a. 1885, T. XVII, p. 185 —: « La corrente passa per un'elica formata da più metalli, la riscalda e la deforma: si misura la deformazione alla fine di un tempo determinato: e tale deformazione, entro certi limiti, è senz'altro proporzionale alla quantità di calore svolta dalla corrente nell'unità di resistenza del circuito durante l'unità di tempo ». L'elettrocalorimetro, con cui il Roiti fece interessantissime misure sul generatore secondario del Gaulard, fu attaccato — tirando in ballo delle vecchie osservazioni fatte dal Poggendorff e dal Lenz a proposito di un apparecchio del De-La-Rive — dal prof. Gustavo Wiedemann. Ma il Roiti — *N. C.*, a. 1885, T. XVIII, p. 5 a 12 — con esperienze di confronto con un termometro del Riess, poteva rispondere dimostrando che i risultati avuti dall'elettrocalorimetro erano « degni di fede ».

(2) L'esperimento del Foucault accennato a pag. 447 mostra all' evidenza il riscaldamento delle masse metalliche sottoposte all' induzione elettromagnetica. Quel grande riscaldamento indica grande intensità di corrente, e questa poi si spiega facilmente come segue. La resistenza che una corrente elettrica incontra, pag. 431, è tanto maggiore quanto più il conduttore è sottile, e lungo invece il percorso della corrente. Nella massa metallica ruotante dell'apparecchio del Foucault lo spessore è grande, e corto invece il contorno percorso dalla corrente. Ne segue che la resitenza elettrica della massa è piccolissima. Ora, per la legge dell'Ohm — pag. 432, nota 2 — la intensità della corrente , a parità di forza elettromotrice, è tanto più grande quanto minore è la resistenza del circuito; e perciò anche da forze elettromotrici debolissime possono avversi intensità enormi. Così una forza elettromotrice di un centesimo di *volta* — ossia circa un centesimo di quella data da un solo elemento di pila alla Daniell — può generare una corrente di mille *ampère*: basta a ciò che la resistenza sia di un centomillesimo di *ohm*. Col laminare — secondo direzioni opportune — le masse metalliche dei nuclei degli indotti delle dinamo, dei motori e dei trasformatori, si ottiene appunto di aumentare la resistenza delle correnti che si inducono in essi nuclei: il lettore lo comprenderà facilmente pensando che le correnti stesse circolano nella direzione di uno dei contorni della massa, che la laminatura di questa, ove sia fatta in direzione conveniente, viene a sostituire alla massa unica un sistema di masse, il cui contorno complessivo può riuscire enormemente più lungo di quello della massa unica. Con ciò le *correnti parassite* — o *del Foucault*, come vengono dette — sono rese meno intense, e quindi viene a diminuire la quantità di energia che va perduta sotto forma di calore nella massa medesima.

ora distruggere, ora produrre delle affinità secondo il grado che si è saputo darle », e sperimentando, per chiarire cotesto fatto — su sbarrette di bismuto, antimonio, piombo, zinco, ferro, ecc., di 45 mm. di lunghezza e 1 $^1/_2$ di sezione — con mezzi di squisitezza veramente straordinaria per quell'epoca — un galvanometro « con aghi alla Nobili » avente, in luogo di un filo molto lungo, una semplice « lamina di rame larga un centimetro, che faceva un giro solo »; come generatore di corrente « una elevazione di temperatura di 10° alla saldatura d'una coppia termo-elettrica zinco-rame » — vedeva con sorpresa che sempre, quando « poneva una sbarra di bismuto, la deviazione dell'ago era opposta al senso della corrente primitiva ». Meravigliato « dal persistere di un risultato tanto inaspettato », si faceva a « cercare di raccogliere la più leggiera alterazione di temperatura che potesse prodursi alla giuntura dei metalli e sotto la influenza della corrente primordiale; alterazione che sarebbe la causa di una corrente secondaria più intensa di quella sì debole e sì poco resistente (*sic*) dello zinco e del rame riscaldato solo di 10° ad una delle saldature ». Egli scopriva così un nuovo fenomeno d'indole termica relativo alla propagazione della corrente, e consistente nel manifestarsi di variazioni di temperatura nei punti di congiunzione di conduttori differenti posti in serie. Quel fenomeno, noto in fisica sotto il nome appunto di *fenomeno Peltier*, e col quale si collegano acuti lavori del Lenz — « *Ueb. Kalteerzeug. durch die Galv. Strom* » e « *Leitungsfähigk. des Wismuths, Antimons, u. Quecksilbers* » in *Pogg. Ann.* a. 1838, T. XLIV, p. 342 e 345 — rivela, col raffreddamento della saldatura, un assorbimento di energia qualora la corrente sia del senso di quella termoelettrica che si avrebbe riscaldando la saldatura stessa come rilevava più tardi il Frankenheim — « *Ueb. Wärme u. Kalte in der Galv. Kette an d. Grenze zweier Leiter* » in *Pogg. Ann*, a. 1854, T. XCI, p. 161 — mentre ne rivela svolgimento — con la elevazione della temperatura — nel caso in cui la corrente elettrica sia diretta nel senso opposto. Sotto cotesto rispetto, il fenomeno entra nell'ordine di quelli che si collegano con i rapporti tra la materia e le forze elettriche; quei rapporti, a cui è dovuta la stessa forza elettromotrice della pila. Pertanto esso presenta un interesse scientifico che non esitiamo a chiamare di primo ordine; e nessuna meraviglia che ne formassero oggetto di studio molti fisici, da Quintus Icilius, dal Clausius, dall'Edlund, dal Le Roux, venendo fino al Bouty, al Duhem, al Budde, al Jahn, a Skobelitzine e Zizerling, al Bellati — che (1) faceva intorno ad esso una misura importante per la coppia ferro-zinco, — ed al Battelli, che col Naccari (2) lo studiava nei liquidi, e più tardi — 1888, *Nuovo Cimento*, T. XXIII, p. 64 a 67 — lo esaminava per delle coppie costituite da piombo e da leghe piombo-stagno e stagno-cadmio, fornendo dati — tra i non molti che si posseggano — per verificare — nella deduzione importante che l'effetto Peltier deve annullarsi a quella temperatura a cui avviene

(1) « Sul valore dell'effetto Peltier in una coppia ferro-zinco. Ricerche del dott. Manfredo Bellati », in *Atti del R. Ist. Ven.*, ser. 5.ª T. V., a. 1878-79, pag. 573 a 578. Vegg. anche la determinazione Naccari e Bellati su una coppia bismuto-rame, nei med. Atti, T. IV, a. 1877.

(2) Sono tre importanti Memorie pubblicate in *Atti della Regia Accademia delle Scienze* di Torino — Vol. XX, anno 1884-85 e Vol. XXI, anno 1885-86 — e delle quali si trova un estratto in *N. Cim.*, a. 1886, T. XX, p. 201 a 210.

la inversione di senso della forza elettromotrice nelle coppie termoelettriche — la teoria del Kelvin su le correnti generate da coteste coppie.

Dal Kelvin poi — allora sir W. Thomson, onde il fenomeno porta comunemente il nome di *fenomeno Thomson* — nell'esame sperimentale e nella discussione di idee teoriche da lui comunicate alla *Società Reale di Edimburgo* nel dicembre 1851, e suggeritegli da una vecchia osservazione del Cumming — *Electro-Dynamics*, *section* 104, p. 193, Cambridge, 1827; riportata in *Phil. Trans.*, a. 1856, p. 698 — consistente in ciò, che « se fili di oro, argento, rame, ottone o zinco vengono riscaldati in connessione col ferro, la deviazione (indicante la corrente) che è su le prime positiva, diventa negativa al rosso »; dal Kelvin, diciamo, veniva scoperto — *Proc. of the R. Soc. of London* a. 1854, T. VII, p. 49, e *Phil. Trans.*, T. 146, parte III, pag. 649 a 751 — il fatto da lui chiamato *trasporto elettrico del calore*, e consistente in ciò, che, quando la temperatura di un filo metallico non è la medesima in tutti i punti, il riscaldamento prodottovi da una corrente elettrica è differente secondo che la corrente stessa è diretta della parte calda a quella fredda, o reciprocamente. Anche cotesto fenomeno — studiato dippoi da molti fisici, tra i quali meritano menzione speciale il Le Roux, il Bidwell, e, soprattutto, il Battelli (1) — rientra nell'ordine già ricordato di fatti fisici, in quanto — potendosi attribuirlo ad eterogeneità delle varie parti del filo mettallico, dovute alla differenza di temperatura — offre analogia perfetta con quello del Peltier, presentantesi quando la corrente passa da un corpo ad un altro.

Lasciando gli effetti Peltier e Thomson, ed accennato come il riscaldamento di lamine e fili metallici operato dalla corrente — con le relative mutazioni di forma e di dimensioni — abbia fornito al Maggiore Cardew la base per la costruzione di un *voltometro* cospicuo, e ad altri costruttori — Hummel Hartmann e Braun, Olivetti — quella di voltometri, amperometri e wattometri — detti *termici* appunto per la natura del fenomeno costituente il principio della loro azione — preziosi perchè industriali ed applicabili tanto alle correnti continue, quanto alle alternanti — e tra i quali quelli dell'Olivetti emergono per genialità d'idee e bontà non comune di costruzione — dopo ciò — diciamo — sarebbe a parlarsi delle importanti applicazioni che l'industria ha saputo trarre dal calore svolto dalla corrente elettrica.

Senonchè, collegandosi talune di esse con quelle delle azioni elettrochimiche, ci pare preferibile riassumere prima la storia delle scoperte fondamentali in cotesto altro campo.

La loro origine sta in esperienze celebri intrapprese da Nicholson e Carlisle, con la pila, prima ancora che la invenzione di essa fosse resa di pub-

(1) « Sull'effetto Thomson; studio sperimentale »; « Sul fenomeno Thomson nel piombo »; e « Su fenomeno Thomson », tutte in *Nuovo Cimento*, a. 1887; la prima e la seconda T. XXI, rispettivamente pag. 228 a 249 e 250 a 258; la terza T. XXII, p. 157 a 166 e 221 a 230. Il Battelli con i suoi studî veramente accurati arrivava alle conclusioni notevoli che « per tutte le sostanze sottoposte ad esame — cadmio, ferro, antimonio, bismuto, packfong, e lega di 10 parti in peso di bismuto e 2 di antimonio — l'effetto Thomson è proporzionale all'intensità della corrente, e che per tutti, fatta eccezione per il ferro, è proporzionale alla temperatura assoluta ». Aggiungiamo infine l'altra memoria dell'illustre fisico « Sul fenomeno Peltier a diverse temperature e sulle sue relazioni col fenomeno Thomson », di cui fu pubblicato un largo sunto fatto da lui stesso nel T. XXVII, a. 1890, pag. 111 a 136 del *Nuovo Cimento*, e che è pure veramente importante per il contributo che porta a conferma delle vedute teoriche in cotesta materia di altissimo interesse scientifico.

blica ragione con la lettura alla *R. S.* della celebre lettera — V. p. 410 — del Volta a sir Banks (1).

I due fisici inglesi cominciavano le loro esperienze con una pila composta di 17 « piccoli scudi » ed altrettanti pezzi di zinco e di cartone bagnato; e, dopo altre osservazioni, « un sospetto dovuto ad odore di gas idrogeno che si manifestava in certe condizioni dell' apparecchio fece immaginare a Nicholson di porre nel circuito, tra l'alto ed il basso della pila, un tubo di vetro ripieno di acqua, dalle estremità del quale entrassero, attraverso ai tappi, due punte metalliche, le quali lasciassero tra loro qualche distanza all'interno. Questa esperienza si fece il 2 maggio . . . . (2) ». Poco dopo l' applicazione dei reofori al tubo « si vide apparire una piccola corrente di bolle finissime che parevano uscire dalla punta del filo metallico inferiore nel tubo, ossia da quella che comunicava col pezzo d'argento sul quale sorgeva tutto l'apparecchio: la punta opposta si andava successivamente oscurando: essa prese dapprima un colore arancio scuro, poi nero. . . Il prodotto aeriforme durante le due ore e mezzo di lavoro dell'apparecchio s'elevò ad $^1/_{15}$ di pollice cubico. Lo si mescolò con un volume uguale di aria comune, ed esso detonò al contatto con una fiamma di filo cerato ».

In quella memoranda esperienza — durante la quale i due fisici inglesi avevano constatato che con l'invertire le comunicazioni, sia capovolgendo il tubo, sia ritornandolo alla prima posizione, s'invertiva la punta dalla quale si originava la corrente di bollicine — fu fatta un'altra osservazione importante. « Non fu senza sorpresa che si vide, in quei singolari risultati, l'idrogeno svilupparsi al contatto di uno dei due fili con l'acqua, mentre l'ossigeno si combinava con l' altro filo, lontano all' incirca due pollici. Cotesto fatto, nuovo, è ancora inesplicato: esso parrebbe dipendere da qualche legge generale nel modo d'azione dell'elettricità ». Così si poneva alla fisica il problema della ricerca del meccanismo delle azioni elettrolitiche (3).

Altre esperienze furono istituite in quella occasione dal Nicholson e dal Carlisle, nelle quali si constatarono, sia il farsi più energico della scomposizione con l'avvicinarsi delle punte; sia il fatto dell'arrossarsi della tintura di tornasole ad uno dei poli, il conservare essa la sua tinta all'altro (4); sia infine che la decomposizione avveniva « *entre chaque paire des deux métaux* ».

(1) Il fatto non può avere altra spiegazione all'infuori di quella di una comunicazione che il Banks abbia fatto in privato al Nicholson, od al Carlisle, od a qualche altro fisico che ne abbia poi dato notizia ad essi, giacchè la lettera del Volta, che aveva la data del 30 marzo 1800, fu letta sola il 26 giugno successivo, mentre il Nicholson ed il Carlisle cominciarono le loro esperienze il 30 aprile. Quest'ultimo fatto si rileva da un articolo — con note del Pictet — riportato — dalla *Bibliothèque Britannique* — nel T. LI, a. VIII, o 1800, del *Journal de Phys.* del Delamétherie, p. 344 a 354. L'articolo, che ha per titolo: *Descript. du nouv. app. ou galvanique de M. Alexandre Volta, et exp. faites avec cet app. par MM. Nicholson et Carlyle*, è tradotto dal Giornale del Nicholson — probabilmente dal Pictet —. Da esso sono tolte le notizie e citazioni che diamo sopra intorno a coteste esperienze memorande.

(2) Nel corso delle esperienze furono usate pile con diversi numeri di elementi: quella accennata sopra fu eseguita con 36 coppie, formate sempre da « piccoli scudi » e dischi di zinco e cartone bagnato. Il tubo impiegato in essa aveva $^1/_2$ pollice di diametro, le punte erano alla distanza di pollici 1 $^3/_4$, e si era usata acqua dolce naturale. Particolare interessante è pure cotesto dell' essersi impiegate delle monete nella confezione della pila: i due fisici inglesi avevano forse ceduto all'impazienza, da cui dovevano essere stati presi del vedere in azione il maraviglioso apparecchio del Volta.

(3) Nel corso di quella esperienza fu fatta un'altra osservazione interessante: la decomposizione si sospendeva applicando ai poli della pila un buon conduttore, si riprendeva ove questo veniva tolto. I due fisici si erano trovati davanti al problema della ripartizione della corrente nei conduttori accoppiati in derivazione.

(4) Nota il Pictet che alla *Soc. de Phys. et d'Hist. Nat.* di Ginevra era stata fatta, tra altre, una esperienza analoga, usandosi acqua tinta con sciroppo di violette, e si era constatato che essa diventava verde ad uno dei poli, conservava invece la propria tinta all'altro.

Dopo di esse, il Nicholson continuò da solo a sperimentare; e se in qualche particolare i risultati sono esposti in forma che oggi presterebbe il fianco a lieve appunto, egli giungeva però a cotesti tre risultati capitali: usando fili di platino otteneva tanto l'idrogeno quanto l'ossigeno, e li raccoglieva creando il classico *voltametro* (1); otteneva un deposito di rame metallico, prima esperienza di galvanostegia (2); intravvedeva nella scomposizione dell'acqua e nella elevazione della temperatura un mezzo per misurare la intensità della corrente elettrica (3).

Altri depositi metallici conseguiva dall'azione della corrente, subito dopo, con pile da 40 a 100 elementi, il Cruickshank, di Woolwich — *Journ. de Phys.* del Delaméthérie, a. 1800, T. LI, p. 166 e 167 —. Egli — che da alcuni fatti aveva argomentato che si avesse formazione di un acido ad uno dei poli, di un alcali all'altro — dal proposito di ottenere ossigeno puro, era stato condotto ad impiegare una soluzione acquosa di acetato di piombo, ed in capo a qualche minuto vedeva « degli aghi metallici all'estremo del filo comunicante con la lamina di argento. Cotesti aghi aumentarono bentosto, assumendo la forma di piuma, o, meglio, di cristalli di muriato di ammoniaca: il piombo così precipitato era perfettamente nel suo stato metallico e molto brillante ».

Humphry Davy.
Ripr. del ritratto eseg. da Th. Lawrence, esist. alla *Royal Institution*.

Avendo impiegato in seguito una soluzione di solfato di rame, ottenne il deposito del rame stesso « nella sua forma metallica sul filo connesso con

(1) Dopo avere detto che « la semplice decomposizione dell'acqua mediante fili di platino senza ossidazione del metallo offerse il mezzo di ottenere i due gas separati l'uno dell'altro » e che aveva combinato la pila di 36 elementi del Carlisle coi suoi due « *assortimens de seize répétitions* » scrive: « s'immersero le estremità » dei fili « armate di platino in due piccoli recipienti pieni di acqua e rovesciati. Il platino di uno dei tubi passava sotto il recipiente vicino...: si vide uscire da ciascun filo di platino il gas in forma di nube, in maggior copia dal lato dell'argento o lato negativo. Le bolle parevano uscire da ogni parte del liquido e si attaccavano a tutta la superficie interna dei recipienti ». È dopo avere riferito che l'apparecchio si lasciò montato per 13 ore e che si trovarono spostati 72 grani di acqua dalla parte dello zinco e 142 dall'altro, nota: « Cotesti due volumi sono pressapoco nel rapporto delle aliquote costituenti l'acqua ». L'esperienza descritta, salvi il numero delle coppie, che era di 68, e la durata, è quale si ripete tuttogiorno nei corsi.

(2) Con una « pila di cento piccoli scudi ». Avendo usato fili di rame ed acqua acidulata con acido muriatico per $^1/_{100}$, osservò tra gli altri fatti che « si formò un deposito di rame allo stato metallico, intorno al filo inferiore, o negativo . . . Cotesto deposito, in capo a quattro ore, formava una vegetazione metallica ramificata, di cui il volume superava nove a dieci volte quello del filo intorno al quale essa era agglomerata ».

(3) L'articolo del Nicholson termina così: « Ci manca un mezzo per misurare l'intensità d'azione in cotesti apparecchi. Si potrebbe valutarla mediante la quantità di acqua decomposta, o di gaz sviluppato in circostanze simili tra loro ed in un tempo dato? Ovvero mediante qualche modificazione nella temperatura? »

l'argento; ma quella volta il metallo, lungi dal prendere la forma di cristalli, formò una specie di bottone all'estremità del filo ».

Il deposito « più bello » fu però quello dell'argento disciolto nell'acido nitroso: il metallo si dispose in piccoli aghi metallici finissimi, congiunti gli uni agli altri, come avviene nell'*albero di Diana* ».

Sorvoliamo su altre esperienze del Cruickshank — Giornale del Nicholson, T. IV, p. 183 — del Desormes — *Ann. de Ch.*, T. XXXVII, p. 233 — e su quelle del Brugnatelli che lo avevano condotto a sostenere l'esistenza dell'*acido elettrico*.

A risultati importantissimi giungeva invece, nel 1807 e 1808, Humphry Davy. Egli, che fino dai primordi aveva studiato con passione gli effetti della pila e ne aveva cercato nuove disposizioni (1); egli, che fino dal 1800 aveva rivolto la attenzione a fenomeni elettrochimici — comunicati nel 1800 al dr. Beddoes e nel 1801 ad altri amici, tra cui James Hall ed il Cleyfield (2) —; egli, diciamo, pubblicava — *Phil. Trans.* a. 1808, p. 1 a 44 e 333 a 370 — quelle due insigni memorie « Su alcuni nuovi fenomeni nei mutamenti chimici prodotti dall'elettricità; in particolare su la scomposizione degli alcali fissi e la separazione — *exhibition* — di sostanze nuove che ne costituiscono le basi; e su la natura dei corpi alcalini in generale » ed intorno a « Ricerche elettrochimiche su la decomposizione delle terre, con osservazioni sui metalli ottenuti dalle terre alcaline e su l'amalgama prodotto con l'ammoniaca » (3) che — insieme all'altra letta alla *R. Soc.* il 16 novembre 1809 (4) — costituiscono un monumento glorioso di quella mente privilegiata. Esse sono così dense di pensiero e di fatti da renderne impossibile un riassunto. Sono i lavori nei quali il sommo chimico inglese espone la scoperta delle basi della potassa e della soda — a cui dava nome di *potassium* e di *sodium* —; ne racconta le laboriose preparazioni; narra la congerie di esperienze istituite per istudiarne le proprietà fisiche e chimiche — esperienze la cui lettura riempie l'animo di ammirazione per la genialità della concezione, la sapienza, l'abilità, la perseveranza dell'esecuzione, nella quale il Davy riusciva a superare difficoltà poco meno che insormontabili —; stabilisce la natura degli alcali « la cui cognizione interessa le scienze aventi rapporto con la chimica »; descrive i penosi procedimenti con cui arrivava ad allegare con il potassio, con il mercurio, con il ferro, i metalli ch'egli andava cercando nella barite, nella calce, nella stronziana, nella magnesia; racconta i successi ottenuti applicando, non appena avutane notizia dal Berzelius di Stoccolma — maggio del 1808 — il metodo con cui questi, insieme al dr. Pontin, aveva ottenuto l'amalgama dei metalli della barite, e della calce, e come con quel me-

(1) V. « *Outlines of a wiew of Galvanism* »; « *An Account of a method of constr. simple a. compound combinations without the use of metallic Subst., by means of Charcoal a. diff. fluids* »; « *An Account of some Exp. on Galvanic Electricity* »; e « *Obs. rel. to the progress of Galvanism* ». Tutti in *R. Inst. Journal,* a. 1802, T. I, p. 49 a 66, 79 e 80, 165 a 167, e 284 a 290.

(2) V. nota del Davy stesso alla Memoria « Su alcuni effetti chimici dell'elettricità » letta alla *R. Soc.* il 20 novembre 1806, e pubblicata nelle *Phil. Trans.* del 1807. Se ne trova una versione del Berthollet in *Ann. d. Ch.*, a. 1807, T. LXIII, p. 172 a 266.

(3) Se ne trova una versione abbastanza buona — tolta dalla *Bibliothèque Britannique* per la prima, fatta dal Prieur per la seconda — negli *Ann. de Ch.*, T. LXVIII, a. 1808, p. 203 a 276, e T. LXX, a. 1809, p. 189 a 223, e 225 a 254 rispettivamente.

(4) Anche questa venne tradotta dal Prieur per gli *Ann. de Chim.* — a. 1810, T. LXXV, p. 27 a 77 e 129 a 175. —

todo riuscisse facilmente ad ottenere l'amalgama della base della stronziana, solo penosamente l'analogo elemento dalla magnesia; la separazione dal mercurio — per distillazione — di cotesti metalli — a cui dava nome di *barium*, *strontium*, *calcium* e *magnium* (1) i tentativi per arrivare a risultati analoghi con l'allumina, con gli ossidi di zirconio e di glucinio, e con la silice — tentativi riusciti però a fatti meno perspicui (2) —; la teoria dell'*ammonium* a cui era stato condotto ripetendo le esperienze e proseguendo le indagini di Berzelius e Pontin su l'amalgama ottenuta dall'ammoniaca; difende trionfalmente la semplicità del potassio e del sodio contro l'opinione di Gay-Lussac e Thenard — *Mém. de la Soc. d'Arcueil*, T. II — di Ritter, di Curaudau e d'altri, che essi fossero il risultato di combinazione della potassa e della soda con l'idrogeno, o di carbonio ovvero di carbonio ed idrogeno con gli alcali; porta, in una parola, alla scienza un contributo, nel campo dei fatti ed in quello della speculazione, che avrebbe bastato a mostrare quanto il Davy fosse meritevole d'avere a disposizione i grandi mezzi della *Royal Institution* con cui preparare pile di potenza straordinaria, ed a metterlo nel numero dei più grandi maestri.

Le *figure equipotenziali* realizzate col metodo elettrochimico dal Guébhard.

Ripr. dalla monogr. orig. « *Sur la figuration électrochimique des syst. équip.* » in *Journ. de Phys.* a. 1882, p. 483.

Legg. espl. — Sono ottenute « in una miscela di acetati di rame e di piombo su lamine metalliche molto sottili esattam. limitate alle pareti vertic. di una vaschetta di forma qualsiasi e poste a picc. dist. da elettrodi cilindrici in com. con i poli di una pila di forte tensione. Cot. anelli rappr. con una grande approssim. le linee di ug. potenziale elettr., o di ug. temperatura, o di ug livello che darebbe, al regime stazionario, l'applic diretta di sorg. elettr., termiche od idrauliche, su un piano conduttore av lo stesso contorno della lastra; se ne ded. un processo figurativo molto semplice per determ., in tutti i casi fisicam. possib., i sistemi equipotenz. (od isotermici, o di livello) rispondenti alla equaz. $\Delta_2 \varphi = 0$, in condiz. particolare quals. di limiti o di discontinuità ».

Ricordiamo ancora, del primo quarto del secolo XIX, il Berzelius che nella sua opera « Su la teoria delle proprietà chimiche e su l'influenza chimica dell'Elettricità » — se ne trova un'analisi fatta dal Cuvier su la versione francese, da pag. JXXXI a JXXXIX

(1) « Quest'ultimo nome » scrive il Davy « è indubbiamente suscettibile di obbiezioni, ma *magnesium* fu già applicato al manganese metallico, e sarebbe conseguentemente un termine equivoco ». In realtà, invece, quel metallo venne poi chiamato magnesio.

(2) « Dall'insieme di questi risultati » scrive il Davy « e dal confronto delle diverse serie d'esperienze, si è, mi sembra, autorizzati a concludere che l'alumina, la zirconia, la glucinia, e la silice, sono, come le terre alcaline, degli ossidi metallici; perchè nessun'altra supposizione varrebbe a spiegarci facilmente i fenomeni di cui abbiamo esposto i particolari. Tuttavia l'evidenza della loro decomposizione e della loro ricomposizione non è strettamente della stessa natura di quelle concernenti gli alcali fissi . . . Ove fossi stato abbastanza fortunato da dare maggiore evidenza a cotesti risultati e da procurarmi le sostanze metalliche che erano l'oggetto delle mie ricerche, avrei proposto per esse i nomi di *silicium, alumium, zirconium e glucium* ». Lo ricordiamo ad esempio della misura con cui gli scienziati sommi procedono nel formulare i risultati delle loro indagini.

del T. IV dei *Mém. de l'Ac. d. Sc.* per il 1819 — introduceva la denominazione — rimasta poi con grande vantaggio della scienza — di *elementi elettro-positivi* per quelli svolgentisi al polo negativo, e di *elettro-negativi* per gli altri, e stabiliva su cotesti principi una classificazione dei corpi, dando regole, in relazione a cotesta classificazione, per una nomenclatura chimica perfezionata, e facendo così servire i fenomeni chimici della corrente elettrica a dare indirizzo non solo meno empirico, ma veramente scientifico ad una branca tanto importante della filosofia naturale.

Contributo notevole portavano poco dopo il Becquerel, il Nobili, il Matteucci, il Faraday.

Esordiva il primo con la Memoria « Sulle decomposizioni chimiche operate mediante forze elettriche a bassissima tensione » — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a 1827, T. XXXIV, p. 152 — in cui, richiamando esperienze del Singer, del Wollaston, del Bucholz e quelle del Seebeck su le correnti termoelettriche, esponeva risultati di decomposizioni ottenute mediante coteste correnti. A quel primo lavoro tenevano dietro — stessi Annali, med. anno, T. XXXV, p. 113 — la Nota « Su l'elettricità sviluppata nelle azioni chimiche e su l'impiego di correnti debolissime per provocare la combinazione di un gran numero di corpi », nella quale, riferendosi a lavori del Davy, il Becquerel si proponeva di spiegare « l'effetto elettrico prodotto dall'azione di un acido su un alcali », studiava l'azione delle correnti deboli su le dissoluzioni saline, esponeva i tentativi per la combinazione dei sali « di un medesimo genere » — in modo speciale dei cloruri e dei joduri —; la importante « Memoria su l'Elettrochimica e l'impiego dell'elettricità per operare delle combinazioni » — stessi Annali, a. 1829, T. XLI, p. 5 — in cui — su la base degli effetti elettrici prodotti nel contatto di metalli, dissoluzioni saline, ed acidi — erano presi in esame quelli causati nella pila del Volta dall'azione chimica dei liquidi, e venivano studiati, dal punto di vista elettrochimico, il carbonio ed alcune categorie affini di sali doppi — cloruri, bromuri, solfuri, cianuri —; poi ancora — Annali citati, a. 1829, T. XLII, p. 76 — il lavoro « Su la decomposizione del carburo di solfo mediante l'elettricità », la Memoria (1) in cui si studia quella del solfocarbonato di potassa e del bicarbonato di soda; la esposizione — Annali cit., a. 1830, T. XLIII, p. 380 — « di un procedimento elettrochimico per estrarre il manganese ed il piombo dalle soluzioni in cui si trovano »; e finalmente — stessi Annali, a. 1831, T. XLVIII, p. 337 — quelle « Considerazioni generali su le scomposizioni elettrochimiche e la riduzione degli ossidi di ferro e di zirconio e della magnesia mediante le forze elettriche poco energiche », nelle quali è presa ancora in esame l'azione della pila su le dissoluzioni saline, ed è studiata la scomposizione dei sali con riduzione immediata delle loro basi, applicandola, oltre che alla riduzione degli ossidi indicati nel titolo, a quelli di glucinio e di titanio.

Il Nobili (2) scopriva poi un ordine affatto nuovo di fenomeni appar-

(1) « *Mémoire sur de nouveaux effects à produire des combinaisons, et sur leur applications à la cristallisation du soufre et d'autres substances* » in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1830, T. XLIII, p. 131.

(2) « *Sur une nouvelle classe de phénomènes électro-chimiques* » in *Bibl. Univ*, a. 1826, T. XXXIII, p. 302 a 314; a. 1827, T. XXXIV, p. 194 a 213; T. XXXVI, p. 3 a 16; ed a. 1828, p. 177 a 180. Il primo articolo, datato da Reggio Emilia il 20 Novembre 1826, è riportato in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1827, T XXXIV, p. 280 a 292;

tenenti ad azioni secondarie che si producono a spese della soluzione elettrolitica medesima, e consistenti in depositi di ossidi su lamine metalliche — con formazione di elegantissimi anelli colorati, a cui fu dato appunto il nome di *anelli del Nobili* —; fenomeni che venivano ristudiati in seguito — 1845 - dal Becquerel, e molto dopo — 1882, *Journ. de Phys.*, p. 205 a 222, e 483 a 492 — dal Guébhard, a cui le eleganti figure ottenute da quei depositi suggerivano il mezzo per tracciare fisicamente, in una maniera rapida e semplice, sistemi di linee equipotenziali, indicate analiticamente (1) poco meno che quarant'anni prima dal Kirchhoff — ancora studente, nel *Seminario fisico* di Königsberg — poi da altri (2).

Quanto al Matteucci — ove se ne tolga lo scritto « Sulla influenza della elettricità nella formazione delle principali meteore acquee » da lui pubblicato quando, sedicenne, stava compiendo nell'Università di Bologna il secondo anno del corso di matematica — si può dire che l'elettrochimica ne segni il battesimo scientifico. Questo, infatti, il Matteucci ebbe a Parigi, dove per generosa condiscendenza del padre — Vincenzo, medico di Forlì molto reputato e di rara bontà di animo, che « spese quasi interamente il suo poco avere per educare il figlio e per soccorrerlo nei primi tempi della sua carriera scientifica » (3) — erasi recato tosto conseguita la laurea, per amore di studio « e mirando costantemente ad alto scopo, quello di acquistare pronta fama nel consesso dei dotti ». Gliela conferiva la Memoria « *Sur la décomposition des sels métalliques à l'aide de la pile voltaïque* », accolta — anche per la benevolenza con cui il Biot, il Becquerel, il Pouillet, il Dumas, il Magendie, l'Orfila, e segna-

cotesta riproduzione è seguita da una nota della Redazione — il che vuol dire dell'Arago — in cui si ricorda — riassumendola — una Memoria del Priestley inserita nel T. LVIII delle *Phil. Trans.* relativa « a fenomeni analoghi » agli *anelli del Nobili:* sostanzialmente però le esperienze del Priestley differiscono profondamente da quelle del fisico italiano.

(1) Anni 1845 e 1846. « *Ueb. den Durchgang eines elektr. Stromes durch eine Ebene, insbesondere durch eine kreisförmige* ». In *Pogg. Ann.*, T. LXIV, p. 497 a 514, e LXVII, p. 344 a 349.

(2) È veramente straordinario il numero di esperienze fatte dal Nobili per studiare quei curiosi depositi metallici tanto eleganti nella loro forma e nei loro colori. Egli sperimentava infatti l'azione del solfato di rame su lamine di argento e di ottone collocate successivamente al polo positivo ed al negativo; quella dei solfati di zinco e di manganese; nitrato di bismuto, acetato di piombo; acido acetico, acetato di rame, acetato di bario, di potassio di mercurio, di rame, di piombo; dell'idroclorato di stagno, di cobalto; dell'emetico, clorato di platino, acido fosforico; dell'acido ossalico, sottocarbonato di potassio, sal comune; dell'idroclorato di potassio, sottocarbonato e solfato di soda; dell'orina, ed urea, dell'orina e sal comune. Osservava che le punte acute producono maggior numero di anelli colorati, osservava i colori di questi, come si ottengano su diversi metalli, come il polo positivo offra più variazioni del negativo grazie alle sostanze elettronegative che vi si depongono; ricercava i mezzi per avere dei risultati appariscenti all'elettrodo negativo, sottoponendo a novella prova, oltre che la serie numerosissima delle sostanze che già abbiamo indicate, molte sostanze organiche, quali la parte sierosa del sangue umano, il latte di giovenca, l'albumina ed il giallo dell'uovo di gallina, la saliva; il sangue di pollo, la bile di maiale, la bile umana, gli umori dell'occhio di maiale; il succo di carota, di cipolla d'uva, d'aglio, di mela, e di molti altri vegetali; notava come le sostanze animali e vegetali si depositassero principalmente al polo positivo e dessero apparenze più belle che non le soluzioni chimiche, non dimenticando di mettere in rilievo quell'analogia nella disposizioni dei depositi, che doveva poi fornire al Guébhard il punto di partenza per le sue genialissime osservazioni su la relazione tra coteste linee e le linee equipotenziali del Kirchhoff, come è accennato sopra. Cogliamo da ultimo la opportunità per richiamare che coteste figure elettrochimiche suggerirono studi bellissimi allo Stscheglaieff, al Ditscheiner, al Voigt, al Roiti, e — da segnalarsi in modo speciale — a quell'eminente cultore della fisica matematica che è Vito Volterra, il quale, dapprima con quell'altro geniale fisico che è Luigi Pasqualini, poi solo, arricchiva di importanti Memorie — T XVIII, pag. 147 a 168 e 133 a 146, sed. del 17 dic. 1882; T. XVIII, pag. 239 a 246, sed. dell'11 febbraio 1883 — gli *Atti della R. Acc. d. Sc.* di Torino

(3) Felici, *Notizie sulla vita e sugli scritti di Carlo Matteucci*, Firenze, Stamperia Reale, 1876. Da cotesta pregevole monografia sono tolte le poche notizie biografiche che diamo sopra.

tamente l'Arago, avevano preso a considerare il non ancora ventenne italiano — negli *Ann. de Ch. et de Phys.* — a. 1830, T. XLV, p. 322. — Quegli Annali pubblicavano poi — tutte, crediamo — le altre classiche monografie di lui, tra le quali qui ricorderemo — perchè attinenti all'argomento di cui ci stiamo occupando — quella su la forza elettro-chimica della pila — a. 1835, T. LVIII, p. 75 — ultimata a Firenze, dove — esule per ragioni politiche dalla sua Forlì, alla quale aveva fatto ritorno da Parigi per mancanza di mezzi — si era ridotto, sotto l'egida di Leopoldo II, ottenendovi dall'Antinori il permesso di far esperienze nel Museo ; nonchè le altre su la forza chimica della corrente elettrica e suoi rapporti con il modo di combinazione dei corpi decomposti — a. 1839, T. LXXI, p. 90 — e su l'azione chimica della corrente voltiana — a. 1840, T. LXXIV, p. 99 —, racchiudenti studi compiuti, crediamo, durante il periodo in cui il Matteucci per le strettezze finanziarie — alle quali avrebbe potuto porre rimedio il Granduca col conferirgli la cattedra di fisica del Museo rimasta vacante verso il 1836 per la morte del Nobili — si era stabilito in Ravenna, ad occuparvi un posto di chimico farmacista nell'Ospedale ; posto sollecitato, ed avuto grazie alla considerazione in che egli era tenuto da Monsignor Giulio Boninsegni, Vicario generale di quella Diocesi, il cui nome ricordiamo a titolo di onore.

In che consista precisamente il contributo portato dal Matteucci, con tutti cotesti lavori, al patrimonio della scienza, diremo con parole ancora del Felici. « Facendo percorrere da una stessa corrente differenti elettroliti posti in serie » scriveva egli « Faraday aveva scoperto la legge dell'*azione definita della corrente ;* Matteucci dimostrò che il lavoro interno elettrochimico della pila è equivalente al suo lavoro esterno. Poi in appresso egli studiò la elettrolisi in composti diversi dai binari, i quali soltanto aveva esperimentati il fisico inglese ; e scoperse che essa era pur sempre soggetta a quella medesima legge ».

Cotesta legge, poi, che è tra le fondamentali della fisica e porta il nome di *legge del Faraday su l'elettrolisi*, era stata esposta da questi nella terza serie delle *Exp. Res.* — letta il 10 e 17 gennaio 1833 alla *R. S.* — e da lui formulata al § 377 col dire che « il potere chimico » di una corrente elettrica « come la forza magnetica è in proporzione diretta della quantità assoluta di elettricità che passa ». Essa riappariva poi al § 783 nella serie settima — pres. il 9 gennaio 1834, letta il 23 gennaio ed il 6 e 13 febbraio dello stesso anno — pressapoco nella medesima formola.

Così — per opera dei fisici nominati, e di altri, tra cui meritano menzione speciale il Wollaston ed il Priestley — si erano andate studiando le norme qualitative e le leggi quantitative dei fenomeni nell' azione chimica della corrente elettrica, preparandosi la via ad una nuova branca di scienza e ad una famiglia importantissima di industrie, venute in fiore segnatamente verso il finire del secolo. Che se il dover rimanere nel campo stretto della fisica c'impedisce di scendere a maggiori particolari sui lavori copiosissimi compiutisi anche dippoi, non possiamo però non mettere in rilievo che per opera dei fisici di cui si discorse furono studiate anche le azioni secondarie accompagnanti il fenomeno della elettrolisi; azioni che abbracciano pure un campo

vastissimo, dall'indebolirsi della corrente nella pila del Volta per la polarizzazione degli elettrodi alla applicazione industriale degli accumulatori.

Di più non sarà a tacersi come il fatto che una determinata quantità di elettricità mette in libertà nella elettrolisi un peso determinato di idrogeno, di argento, di rame, o di qualsiasi altro elemento — di un *ione*, diciamo in generale secondo la denominazione comune, introdotta dal Faraday — ossia il fatto che ogni corpo indecomposto — od elemento — ha un proprio *equivalente elettrochimico*, — con la relativa determinazione di cotesti equivalenti elettrochimici, con le norme qualitative e con le leggi quantitative dei fenomeni dell'elettrolisi, col patrimonio, insomma, delle cognizioni andatesi acquistando lungo il corso del secolo — abbia offerto il mezzo, sia di risolvere i problemi pratici di calcolazioni per l'impianto ed il funzionamento delle varie industrie elettrochimiche, sia per la misura assoluta delle quantità di elettricità — e della intensità della corrente, che, poi, non è se non la quantità di elettricità passante per il circuito durante un minuto secondo —; mezzo, la cui squisitezza apparirà subito in tutto il suo valore, non appena si pensi che quella misura si riduce alla valutazione di un peso di ione deposto e del tempo richiesto dal deposito stesso — elementi, cotesti del peso e del tempo, per i quali si ebbe già occasione di mettere in rilievo l'approssimazione meravigliosa alla quale si può arrivare nella misura —.

Da ultimo sarà a ricordarsi come la rapidità del progresso nel campo dei fatti non abbia avuto la corrispondenza nel campo speculativo sul meccanismo del fenomeno. Mentre infatti già nel 1806 Teodoro de Grotthuss (1) pubblicava — con uno studio « Su la decomposizione, mediante l'elettricità galvanica, dell'acqua e dei corpi che essa tiene in soluzione » — una ingegnosa teoria del fenomeno (2), essa, malgrado fosse oggetto di obbiezioni, viveva intatta fino all'epoca — 1879 — in cui il Clausius, a conciliare alcuni fatti delle reazioni elettrolitiche secondarie con i principi della termodinamica, ideava — *Die mechanische Behandlung der Electricität* — la sua teoria degli *ioni liberi* (3). Nel nuovo ordine di idee entrava però bentosto Svante Arrhe-

(1) *Physikalisch-chemische Forschungen.* Cotesto lavoro del Grotthuss è riprodotto, con la teorica dell' elettrolisi, in *Ann. de Ch.* T. LVIII, a. 1806, p. 54 a 74.

(2) Cotesta teorica del Grotthuss si trova esposta in tutti i trattati elementari. Secondo essa la decomposizione dell'acqua, ad esempio — premesso come l'esperienza dimostri che al polo negativo si raccoglie l'idrogeno, al positivo l'ossigeno — avverrebbe in questo modo. Le molecole dell'acqua sarebbero naturalmente allo stato neutro, ma l'idrogeno sarebbe elettrizzato positivamente, l'ossigeno negativamente; l'azione di una forza elettromotrice su di esse consisterebbe nel polarizzare i diversi filetti liquidi, come se si trattasse di un dielettrico, e perciò le particelle d'idrogeno si volgerebbero dalla parte del polo negativo, quelle dell'ossigeno dall'altra. Così avverrebbe — nelle estreme — che la particella del primo si raccoglierebbe sull'elettrodo negativo, quella del secondo sul positivo, mentre ciascuna delle molecole intermedie, dissociandosi, combinerebbe il proprio idrogeno all'ossigeno dell'antecedente, il proprio ossigeno all'idrogeno della successiva, venendo a ricostituire la molecola dell'acqua: per tale maniera rimarrebbe invariata la composizione dell'elettrolito, e si svilupperebbero agli elettrodi i due elementi — al negativo quello elettrizzato positivamente, al positivo invece quello elettrizzato negativamente —. In modo *analogo* avverrebbe, non occcorre dirlo, la scomposizione di ogni elettrolito.

(3) Secondo quella teoria i due elementi della molecola — elettrizzati oppostamente — non sarebbero invariabilmente collegati: si avrebbe anzi — anche solo in piccola parte, indipendentemente da qualsiasi azione elettrica esterna, e precedente, quindi, ad essa — una dissociazione parziale dell'elettrolito in *ioni liberi.* Per l'azione di una forza elettromotrice qualsiasi, anche piccola, gli ioni carichi positivamente si muoverebbero nel senso stesso della forza elettromotrice, gli altri nella opposta: giungendo agli elettrodi, cederebbero la loro carica trasformandosi in ioni neutri — liberi ove manchino reazioni secondarie, combinati con altri elementi nel caso opposto, sostituiti sempre da altri durante il passaggio della corrente, in modo che, rimanendo invariato il grado di *ionizzazione*, si conserverebbe pure invariata la facoltà di *condurre* la corrente —.

nius, aggiungendo di più, specialmente in base ai fatti della pressione che si manifesta nell'osmosi — *pressione osmotica* — costituenti un grande titolo di gloria per il Van't Hoff e per l'Ostwald — ed a quelli dell'abbassamento del punto di congelazione — fenomeni della *crioscopia* — che la dissociazione in ioni aumenta con la diluzione.

L'Hittorf — ed il Moser più tardi — determinavano i *numeri di trasporto*, il cui rapporto è uguale al rapporto con cui gli ioni delle due specie viaggiano verso gli elettrodi, mentre F. Kohlrausch — stabilendo una legge, verificata con la esperienza — determinava, di quelle velocità, la somma; onde — conoscendosi, di esse, la somma ed il rapporto — divenne possibile la calcolazione di valori relativi delle velocità degli ioni; velocità che Oliviero Lodge faceva conoscere in una importante comunicazione alla *British Association* riunita a Manchester — 1887 — quali gli erano risultate da misura diretta. Conferma importante si andava, frattanto, dando dall'Helmholtz quando — 1883 — egli comunicava all'Accademia delle Scienze di Berlino la scoperta che la scomposizione dell'acqua deve operarsi con forza elettromotrice tanto più piccola quanto più è piccola la quantità di idrogeno e di ossigeno disciolti nell'acqua stessa in contatto con gli elettrodi, e — tradotto il fatto in una formola — pubblicava poi i risultati delle verifiche sperimentali. Da tutti quegli studi, e da altri lavori — tra cui ricorderemo quelli del Warburg su la elettrolisi del vetro — *Journal de Physique*, a. 1884, p. 452 — e dello Schultze su quella del mica — *Wied. Ann.*, a. 1889, T. XXXVI, p. 655 — veniva la nuova teoria della elettrolisi (1), che si completava col concetto degli *ioni elettrici* od *elettroni* — secondo la denominazione foggiata dallo Stoney —.

Tutto cotesto dice come la luce nei fatti della elettrolisi ritardasse di assai, e spiega come in un'opera magistrale di due fisici tra i più eminenti e colti del secolo scorso (2), ancora nel 1883, dopo la esposizione delle belle e soddi-

(1) Secondo le nuove teorie — alle quali portarono anche studi a cui si accennerà a proposito della teoria elettromagnetica della luce — l'elettricità avrebbe una struttura atomica — il che non significa affatto materializzazione dell'elettricità, potendo indicare piuttosto una speciale condizione localizzata dell'etere universale —. Ad ogni ione di valenza chimica determinata corrisponderebbe una carica elettrica pure determinata, proporzionata alla valenza: questa, secondo idee esposte dall'Helmholtz nel 1881, e basate appunto su le leggi dell'elettrolisi — sarebbe, per ogni valenza di ione, una quantità — di elettricità — determinata, avente esistenza a sè, indivisibile come l'atomo a cui è unita: sarebbe essa l'*elettrone*. Gli ioni, giungendo agli elettrodi, diverrebbero atomi neutri, mentre gli elettroni conservando la loro individualità entrerebbero in circuito a costituire la corrente elettrica, che sarebbe moto degli elettroni negli spazi intermolecolari dei conduttori; moto degli elettroni positivi in un senso e dei negativi nell'opposto, ovvero dei soli negativi in un senso determinato — come più generalmente si tende a ritenere, visto che non pare possano esistere isolati gli elettroni positivi, mentre si ha ragione per ritenere lo possano i negativi, dotati di facoltà di spostamento, di attitudine ad unirsi alla materia o separarsene, atti a vibrare nelle sorgenti luminose. Secondo cotesto modo di concepire la corrente, un ione negativo depositandosi sull'elettrodo positivo — *anodo* — cederebbe ad esso l'elettrone; mentre un ione positivo, giungendo all'elettrodo negativo — *catodo* — anzichè cedere l'elettrone positivo, ne prenderebbe uno negativo neutralizzandosi con esso. Con ciò la scienza moderna potrebbe rendere ragione ad un tempo e della elettrolisi e di altri fatti con i quali pareva che questa non potesse — e sarebbe assurdo — conciliarsi. Per togliere l'elettrone negativo dal ione positivo, occorrerà spendere dell'energia, come per compiere qualsiasi altro lavoro; e cotesta energia, lo si comprende, dovrà essere diversa per i diversi atomi, secondo la loro natura chimica: così si spiega come occorra consumare del lavoro per la decomposizioni chimiche, e come ciò debba farsi in misura diversa secondo la varia natura chimica e del composto e degli elementi. E la decomposizione stessa si riduce a dissociazione dell'elemento elettropositivo dall'elettrone negativo corrispondente, ed alla unione di questo all'altro elemento della molecola.

(2) Jamin et Bouty. *Cours di Phys. de l'Éc. Polytechn.*, T. IV, 2° fasc. p. 484.

sfacenti teorie moderne su l'elettromagnetismo, parlandosi dell'elettrolisi, si dovesse scrivere: « coteste teorie nulla ci apprendono sul modo con cui l'elettricità opera per provocare le decomposizioni elettrolitiche: non si hanno, per cotesto rispetto, che delle idee vaghe, senza legame con le teorie precedenti »; ma spiega anche come l'affermarsi delle idee, sorte quasi d'incanto alla fine del secolo, permettesse poco dopo, ad uno tra i sommi fisici viventi, di dire con tutta ragione: « adottato questo modo di considerare la dissociazione elettrolitica, questa con tutte le sue importantissime conseguenze, rientra nella teoria più generale degli elettroni (1) », il che è quanto dire nella teoria abbracciante anche i fatti più misteriosi dell'elettricità.

Non ci è possibile nè una esposizione ragionata che mostri al lettore tutta la genialità delle nuove idee e gli argomenti che s'invocano a suffragare le conclusioni a cui giunsero i fisici che le andarono escogitando, meditando, sottoponendo all'esperienza, nè una esposizione delle obiezioni che esse sollevano, nè, infine, il mettere in rilievo tutte le conseguenze che ne derivano nel campo delle teorie fisiche.

Però, su quanto spetta a cotest'ultimo campo, non possiamo passare sotto silenzio due punti.

Il primo riguardo la conduttività dei corpi, e si riassume in cotesto che le nuove idee permettono di collegare i fenomeni della elettrolisi con quelli della conduttività, e di spiegare con ipotesi molto semplice la continuità con la quale dai dielettrici si passa agli elettroliti: una sostanza che non presenti ionizzazione non potrà essere conduttiva; dovrà essere un perfetto dielettrico: sarà invece, una sostanza qualsiasi, più o meno conduttiva secondo che offrirà un grado più o meno alto di ionizzazione.

Il secondo tocca la teoria della pila. Fu accennato — p. 412 — alle controversie a cui diede luogo durante tutto il secolo XIX la teoria della pila. Per lungo tempo i gabinetti scientifici videro fisici tra i sommi eseguire esperienze intese a sostenere dove la teoria del contatto, dove la teoria chimica; ed i periodici scientifici e le memorie accademiche riboccarono di resoconti e di scritti in cui si sosteneva l'una o l'altra delle due teorie: nè la questione era risolta quando il secolo XIX tramontava, sì che nel 1899 ancora una memoranda discussione a cui partecipavano il Righi ed il Pellat, il Pacinotti e S. Thompson, il Maiorana ed il Mascart si faceva in Como dai fisici ed elettricisti riuniti a commemorare il centenario della invenzione del Volta.

Ebbene, forse la soluzione del problema potrà essere offerta, come pare, dalle nuove idee sui fenomeni dell'elettrolisi, mercè la *teoria osmotica della pila* del Nernst (2) — con la quale si intravvede la spiegazione non pure della forza elettromotrice di contatto per tutti i casi per i quali la sostenne il Volta, ma quella della stessa produzione di elettricità nello strofinio, nel clivaggio, in tutte, insomma, le azioni con cui giungiamo a svolgerla. Sarebbe cotesto un gran passo, dal punto di vista filosofico.

(1) Righi. *La moderna teoria dei fenomeni fisici*, Bologna, Zanichelli, 1904.

(2) Il lettore troverà una esposizione lucidissima della questione nella *Nota sulle teorie della pila* che si trova in appendice alla monografia *Volta e la Pila* del Righi, indicata a pag. 405, nota 1.ª.

Dovremmo ora dire, almeno sommariamente, delle grandi applicazioni che i fenomeni calorifici e chimici prodotti dalla corrente elettrica andarono man mano trovando; ma ci limiteremo a quella degli effetti calorifici, lasciando gli altri alla parte di questa pubblicazione che è riservata *ex professo* alla chimica, e solo accennando alle due grandi invenzioni del Brugnatelli — 1803, a Pavia — e del Jacobi — 1837, a Pietroburgo —; dei quali, l'uno — con la *doratura galvanica* — (1) gettava le basi degli infiniti processi di *galvanostegia*; l'altro — con la riproduzione per deposito elettrolitico della sua lastra da carte da visita — creava il primo di quelli della *galvanoplastica* (2).

Venendo, pertanto, alle applicazioni degli effetti calorifici, ricorderemo anzitutto come la corrente offra due mezzi molto diversi per lo svolgimento del calore.

L'uno, su cui ci soffermeremo dapprima, sta nell'approfittare del fatto che cotesto svolgimento — secondo la legge del Joule — è in ragione del quadrato dell'intensità della corrente, e, in una data parte qualsiasi del circuito, è proporzionale alla resistenza di essa parte. Si può per siffatta ragione localizzare, a così dire, una quantità di calore determinata e grande quanto si vuole, col fare opportunamente grandi la intensità della corrente nonchè la resistenza del circuito stesso nello spazio voluto.

Così diventa facile l'arroventare, il fondere, il volatilizzare perfino, dei fili o delle masse metalliche ponendoli tra conduttori di dimensioni molto maggiori — e quindi di piccola resistenza —; dal che il mezzo di applicazioni tanto disparate, quanto lo sono la *galvanocaustica* — con cui il chirurgo cauterizza ed asporta un tessuto organico, circondandolo con un'ansa formata da filo di platino nel quale viene lanciata una corrente d'intensità gradatamente crescente fino ad ottenere l'arroventamento — e la saldatura in posto delle rotaie — come si cominciò a fare agli Stati Uniti verso il 1890 (3) —.

(1) « Per dorare i lavori fini di altri metalli, come quelli d'acciaio ad oggetto principalmente di difenderli dal facile irruginimento, vi si riesce, come io ho osservato (*Ann. di Chim. e St. Nat.*, tomo XXI, 1803), immergendo i suddetti lavori nell'ammoniuro d'oro, dopo averli messi in comunicazione col polo negativo della pila Voltiana ». L. BUGNATELLI, *Elementi di Chimica*, T. II, p. 251, Pavia 1803.

(2) Fu nel settembre del 1837 che il Jacobi mandò al Fuss segretario dell' Accademia delle Scienze di Pietroburgo la riproduzione galvanica accennata sopra, la cui idea gli era stata suggerita da osservazione — fatta il 3 febbraio 1836 — di deposito elettrolitico di rame prodottosi in una pila Daniell. Il 5 settembre del 1839 il Jacobi inviava al conte Ouvarow un bassorilievo ottenuto galvanoplasticamente in rame e galvanicamente dorato — riproducente la scena dell'Odissea composta dal conte Teodoro Tolstoy, ed il cui stampo era formato in cera amalgamata con polvere metallica — accompagnandolo con una lettera dalla quale si rileva che il deposito galvanoplastico aveva richiesto sei giorni; che esso non aveva necessitato « se non l' aggiungere ogni sera ed ogni mattina una soluzione di solfato di rame, tutto il resto essendo fatto dalla natura »; e che il Jacobi mandava quella copia perchè potesse « conservarsi come documento storico del fatto che la invenzione, datata dal 1836 e 1839 » aveva « già acquistato il grado più eminente per il suo impiego pratico » che il Jacobi diceva adattabile « a tutte le arti ed a tutti i mestieri ». Nel 1839 il grande fisico russo mandava dei campioni di prodotti galvanoplastici all'Humboldt ed alla Accademia di Parigi, che il 13 marzo 1840 gli decretava la grande medaglia d'oro, destinata ad onorare le invenzioni scientifiche. Nello stesso anno il Jacobi riceveva dall'Accademia delle Scienze di Pietroburgo il premio Demidoff, e, per ordine dello Czar, il 15 marzo 1840 l'invenzione era acquistata per 25.000 rubli dallo Stato, affinchè potesse divulgarsi a profitto di tutti i sudditi dell'Impero ed anche di tutto il mondo. Un manuale particolareggiato di galvanoplastica veniva poi pubblicato, dapprima come supplemento al numero del 2 maggio del giornale *Peterburskjia Wiedemosti*, poi in edizioni separate in russo, in tedesco ed in francese. Vegg. *Aperçu* — già citato a pag. 463, seguito della nota 3.ª a pag. 462 —.

(3) *La saldatura elettrica* costituisce ora una vera industria a sè già da parecchi anni, poichè esistono agli Stati Uniti delle Compagnie, le quali esercitano esclusivamente cotesta industria, per la quale venne studiato tutto un macchinario speciale e completo. L'operazione si riassume nel portare a contatto i due pezzi da saldare montati su grossi conduttori, attraverso ai quali, una volta chiuso il circuito, passano correnti di debole

Alla stessa maniera le pacifiche arti della civiltà e quelle della guerra applicarono la corrente all'accensione delle mine e delle torpedini — ottenibile a distanza praticamente illimitata, in un istante ben determinato, contemporaneamente anche in molti punti, con esito assai più sicuro di quello offerto dalle antiche micce —. Rendendo incandescenti dei fili disposti entro opportune custodie — ovvero usando bacchette di porcellana ricoperte da sottilissimo smalto conduttore in platino-silicio, come fece primo Heraeus di Hanau — si trovò modo di far agire apparecchi di riscaldamento domestico, industriale, o da laboratorio veramente comodi — le stufe Adnet, figuranti alla Esposizione di Parigi del 1900, si possono regolare nella costruzione in modo da ottenerne, per un dato ambiente, una temperatura costante qualsiasi compresa tra i 20° ed i 95° centigradi, col far passare la corrente in acqua compresa tra due elettrodi di rame — applicabili ai carrozzoni ferroviari ed alle navi, con maggiore comodità e pericoli minori, di quelli che si abbiano col riscaldamento a vapore. E su lo stesso principio sono basati i ferri per la saldatura e la stiratura, quelli per... la arricciatura dei baffi e dei capelli, gli scaldabagno, e tutta una serie di utensili da cucina e di arnesi per la economia domestica, dei quali la produzione industriale su larga scala, cominciata a S. Paolo di Minnesota verso il 1890, passò ben presto nell'Europa — prima che altrove, in Germania —.

L'altro mezzo con cui si ottiene direttamente calore dalla corrente elettrica sta nella produzione dell'arco voltaico, di cui si attribuisce comunemente la invenzione al Davy e su cui egli fece ripetuti, memorandi, esperimenti — tra i quali veramente cospicui quelli del 1821 (1). — Alla invenzione si assegnano diverse date, segnatamente il 1809, anno, nel quale « con una potente pila di duemila elementi, Davy dimostrava alla *Royal Institution* in Londra per la prima volta su una larga scala la intensa luce dell'arco voltaico, da lui stabilito tra due aste di carbone » (2).

Ma in realtà, pur lasciando che fino dal 1800, in una lettera al Nicholson — Du Moncel, *L'Éclair. Électr.*, T. II — egli aveva segnalato l'uso di due bastoncini di carbone per eccitare tra essi la scintilla galvanica, sta in fatto che già fino del 1802 nella monografia di lui « *The Outlines of Galvanism* » — pubblicata nel volume del *R. Inst. Journ.* di quell'anno — si leggeva: « Quando in una batteria potente — di duecento coppie, ad esempio — la comunicazione, dopo essere stata rotta, viene di nuovo ristabilita mediante il contatto

forza elettromotrice, ma di grande intensità — alla Esposizione di Chicago del 1893 figurava una dinamo capace di fornire una corrente di 30.000 *ampère* —: un torchio ad acqua, per i grossi pezzi, preme le due parti da saldare l'una contro l'altra, ed esse, rammollite dal calore in cui si trasforma l'energia elettrica della corrente, si saldano. Per la saldatura delle rotaie già collocate in opera si hanno poi dei carri — veri modelli di installazione comoda per la pratica — con cui si trasporta sul luogo tutto il macchinario occorrente.

(1) *Phil. Trans.*, a. 1821. — Avendo il Davy preparato una enorme pila di 2000 elementi, della superficie totale di 82,4 metri quadrati, fatto comunicare gli elettrodi con due aste di carbone di 3 centimetri di lunghezza e del diametro di 4 millimetri, separate da una distanza di mezzo millimetro, vide una « luce abbagliante e continua sgorgare silenziosamente al punto di separazione e continuare indefinitamente: allontanando i carboni fino ad 11 centimetri la luce si allungava nell'intervallo, assumendo la forma d'un arco convesso verso l'alto, conservando uno splendore paragonabile a quello del sole, e svolgendo calore talmente intenso da rimanerne i carboni arrossati fino a metà della loro lunghezza ».

(2) Edwin J. Houston, *Electricity one Hundred Years ago and to-day*, New-York, The W. J. Johnston Company, 1894, pag. 117.

di due conduttori perfetti, si vede una scintilla di luce analoga a quella prodotta dall'elettricità. Cotesta scintilla, ove la batteria sia molto potente, può attraversare uno strato considerevole di aria ». (1) E, poco dopo, una descrizione molto più chiara e precisa dava ancora lo stesso Davy nella monografia « *An Account of Some Experiments on Galvanic Electricity made in the Theatre of the Royal Institution* » pubblicata pure nel medesimo volume del Giornale di quel grande Istituto (2).

Vuole però essere notato che nel medesimo anno 1802, indipendentemente affatto dalle esperienze del Davy, l'arco voltaico era stato prodotto a Pietroburgo da Basilio Petroff, secondo riferisce egli stesso in un libro pubblicato unicamente in russo nel 1803, e rimasto sempre ignorato fino a pochi anni or sono, quando l'Egoroff, membro dell'Accademia delle Scienze di quella città, chiamava su di esso l'attenzione degli studiosi (3). In esso, all' « Articolo VII » — pag. 163 e 164 — si legge: « Ove su una lastra di vetro od una tavola a piedi pure di vetro si pongano due o tre carboni che possano produrre luce mediante il liquido galvanovoltaico, e si avvicinino — con due direttrici metalliche isolate, messe in contatto con i due poli di una grande batteria — fino alla distanza di una a tre linee, allora appare tra essi una luce o fiamma fortissima, di colore bianco. per la quale i carboni si accendono ed una camera oscura può venirne sufficientemente illuminata. Se invece di carbone si impiega un filo di ferro isolato e messo in contatto con uno dei poli di una grande batteria, della quale l'altro capo è saldato con lo stesso metallo o con altro qualsiasi, adattato su di un foglio metallico bagnato leggermente nell'acqua ed avvicinato in seguito al carbone posto su di un vetro e messo in contatto con l'altro polo della pila di grande numero di elementi. si otterrà tra essi una luce, per la quale talvolta cotesti metalli fondono istantaneamente producendo una luce colorata e si ossidano ».

Al Petroff pertanto spetta il merito di avere — indipendentemente dal Davy, fors'anche prima di lui — osservato — non diciamo soltanto prodotto — l'arco voltaico. Però, mentre nelle mani del fisico russo la invenzione rimase infeconda, in quelle dello scienziato inglese essa rivelava ben tosto quale potenza fosse nel nuovo mezzo di produzione del calore, poichè — ove anche si pongano da parte gli esperimenti di fusione e volatilizzazione di metalli

(1) Il brano riportato sopra è tolto da citazione che si trova nel lavoro testè menzionato dell'Houston, non essendoci stato possibile avere tra mano il T. I del *Giornale* della *R. Istitution*. Dobbiamo poi notare che l'Houston non accenna affatto al Giornale medesimo: egli riporta dal Vol. II del *The collected Works of Sir Humphry Davy*. Notiamo pure che osservazioni analoghe erano state fatte dal Brugnatelli. Il Courtet, infatti, aveva pubblicato nel *Journ. de Phys.* che le scintille provocate dalla pila voltiana coi « nastri metallici » sono molto più brillanti quando la loro sommità è terminata da carbone secco di legna dolce. Ora, il Brugnatelli — « Fenom. osserv. colla pila voltiana », in *Ann. di Chim. e St. Nat.*, T. XXI, Pavia, 1802, pag. 143 a 148 — dice che da una pila di 60 dischi di rame zincati da una parte, del diametro di tre pollici, ed i cui dischi di panno erano bagnati « di ossimuriato d'ammoniaca » aveva avuto « delle visibilissime scintille facendo arco con sottili nastri metallici di sei linee di larghezza ». E prosegue: « Lo scintillamento era incomparabilmente più bello e costante allorchè io faceva terminare la pila con un pezzo di carbone dolce alla maniera di Courtet ».

(2) Anche cotesta descrizione trovasi nell'Houston — pag. 118, nota — ed è tolta dalla pubblicazione *The collect. Works of S. H. Davy* testè citata.

(3) Il titolo del libro suona così: *Bollettino delle esperienze galvanovoltaiche fatte dal professore Basilio Petroff, mediante una pila con grande numero di elementi, avente 4200 dischi di rame e di zinco, a Pietroburgo nell'Accademia Medico-chirurgica. Pietroburgo, Tipografia* del Collegio Medico *dello Stato*, *1803*. Vegg. *Aperçu sur les Travaux des Russes*, già citato a pag. 463, verso la fine della nota 3.ª della pagina 462.

fatti nel Teatro della *Royal Institution*, e la cui descrizione lascia per alcuni il dubbio che si trattasse di riscaldamento ottenuto, non col porre i metalli nell'arco, ma col porli a chiudere direttamente il circuito voltiano — sta sempre che con l'arco ottenuto dalla grande pila di 2000 elementi il Davy mostrava come al grande calore di esso non poteva resistere alcuna delle sostanze più refrattarie, e come « frammenti di diamante e pezzettini di grafite scomparivano, e sembravano svaporati. Il filo di platino sottile fondeva rapidamente, ricadendo in grossi globuli: lo zaffiro, il quarzo, la magnesia, la calce fondevano in modo evidente » (1).

E similmente a coteste sostanze « fondevano, a quella fiamma, i metalli scoperti di recente dal Tennant, l'iridio e la lega di iridio ed osmio (2) ». Risultati, cotesti, che oggi sappiamo spiegarci. Secondo le celebri misure del Rossetti, infatti, la temperatura ascende a 3150° nella punta del carbone negativo, a 3900° nel *cratere* del positivo — temperatura costante certamente, secondo le osservazioni spettrali dell' Abney, perchè in cotesta scavatura che si produce nel carbone positivo il carbone stesso sarebbe, giusta gli studi del Violle, al grado della ebollizione — a 4800° nel mezzo dell'arco (3) — per il quale, però, lo stesso Violle, dall'aumento progressivo di luminosità delle righe spettrali che si ha col crescere della intensità della corrente, argomentava che appunto cotesto incremento portasse quello della temperatura (4).

(1) SINGER. *Elements of Electricity and Electro-Chemistry*, Londra 1814, p. 405. Vegg. HOUSTON, p. 120.

(2) *Philosophical Magazine*, a. 1810, T. 35, p. 463.

(3) Il Fizeau ed il Foucault — « *Rech. sur l'intens. della lum. èmise per le charbon dans l'exp. de Davy* » in *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, a. 1844, T XVIII, p. 746 a 754 — avevano notato subito « alle prime esperienze una differenza forte nella distribuzione delle superfici luminose sui due poli della pila, il polo positivo avendo una prevalenza forte in superficie luminosa ed anche in intensità sul polo negativo ».

Coteste esperienze stabilivano un fatto nuovo, facendo fare alla questione della luminosità dell'arco un passo avanti rispetto alle antiche esperienze dell'Arago — da lui stesso ricordate dopo la lettura accennata da Fizeau e Foucault — in quanto l'Arago aveva istituito solo delle misure fotometriche di confronto tra la luce solare ed il complesso della luce dell'arco. Più tardi Edmondo Becquerel « *Rech. sur la déterm. d. haut. temp. et l'irradiation des corps incand.* » in *Ann. de Ch et de Phys.*, a. 1863, p. 48 a 143; a p 139 la parte relativa all'arco — riteneva la temperatura della parte più splendente dei carboni non inferiore a 2070° C., nè superiore a 2100° C Il Rossetti invece con un importante lavoro datato il 3 maggio 1879 dall'Istituto Fisico dell'Univ. di Padova — « Sulla temp. della luce elettr., ossia sulla temp. delle estr. polari dei carboni, nell'atto che produc. la luce elettrica » in *Atti del R. Ist. Ven.*, serie 5.ª, T. V, p. 555 a 572 — lavoro nel quale aveva usato una pila termoelettrica, un galvanometro a riflessione dal Wiedemann, e due lampade ad arco — una dell'Archereau, l'altra del Foucault costruita dal Duboscq — il Rossetti, diciamo, faceva conoscere come ai punti estremi dei due carboni, là dove sono più assottigliati, la temperatura fosse più elevata, e per conseguenza la temperatura media risultasse tanto più piccola quanto più estesa fosse la superficie raggiante, e dava poi conclusioni — la 4.ª, 5.ª, 6.ª, della monografia — formulate così: « Pel polo negativo si ebbe una temperatura minima di 2138° C. essendo la superficie raggiante piuttosto grande, ed una porzione di essa poco lucente: come massimo si ebbero 2532° C., essendo la superficie raggiante circa metà della precedente. — Pel polo positivo si ebbe come temperatura minima 2400°, essendo il carbone molto grosso, e la superficie raggiante assai estesa; e come temperatura massima 3900° allorchè il carbone era sottile e la superficie raggiante minore della quarta parte di quella corrispondente alla minima temperatura. — Si può ritenere non minore di 2500° la temperatura dell'estrema punta negativa, e non maggiore di 3900° quella dell' estremità polare positiva dei due carboni ». A quel lavoro, l'insigne fisico nostro ne faceva seguire un'altro. « Sul potere assorbente, sul potere termico delle fiamme, e sulla temperatura dell' arco voltaico », in *Mem. della R Acc. dei Lincei*, a 1879, serie 3.ª, T. IV, p. 115 a 138 — nel quale, assegnando le temperature di 3150° e 3900° per *la estremità* delle due punte, diceva che nelle sue esperienze « l'arco voltaico che guizza fra quelle due punte ebbe costantemente la temperatura di circa 4800° gradi, qualunque fosse la grossezza dell' arco e la intensità della corrente ». Noteremo, però, che la temperatura di ebollizione del carbone, secondo il Violle — *C. R. de l' Ac. d. Sc.*, a. 1895, T. CXX, p. 868-69 — sarebbe alquanto più bassa — 3600° — di quella di 3900° assegnata dal Rossetti: è difficile, poi, il dire quale delle due sia la più attendibile; forse anche la differenza potrebbe dipendere da differenza nella purezza del carbone.

(4) Il Violle — « *Sur la temp de l'arc électr.* » in *C. R.*, a. 1894, T. CXIX, p. 949 e 950 — operando con intensità di corrente estendentisi fino a 1000 e 1200 *amp.*, mentre trovava che da 10 *amp.* fino a quei limiti lo spettro del cratere si manteneva invariato, notava che « buon numero delle righe dello spettro dell' arco si staccano brillanti su lo spettro continuo corrispondente al cratere positivo », e che « l'illuminazione di esse è tanto più viva, quanto più la corrente è intensa ».

Cotesta potentissima fonte di calore solo verso la fine del secolo veniva applicata al riscaldamento domestico: molto prima il Siemens l'aveva impiegata ad ottenere quello di un forno di terra refrattaria per fusione di metalli — conseguendo con un arco da 36 *ampère* la fusione, in meno di un quarto d'ora, di un chilogrammo di acciaio —. Il Moissan con forni semplicissimi — originariamente un blocco di calce scavato in modo da ricevere un crogiolo ed i reofori fra cui deve prodursi l'arco — riusciva, dal 1892, ad effetti dei più importanti nella chimica dei metalli, tra i quali ricorderemo la riduzione di ossidi — silice, ossidi di uranio, vanadio, zirconio, parecchi ossidi alcalinoterrosi, ecc. — che si erano sempre mostrati irriducibili col carbone, nonchè a produrre nuove combinazioni chimiche, quali il boruro di ferro e parecchi carburi metallici perfettamente definiti, giungendo anche a conclusioni da cui parrebbe emergere — fatto non privo certo d'importanza per la metallurgia e per quanto spetta alle teorie su la costituzione della materia — che alle temperature elevatissime dell'arco la chimica si semplifichi in modo notevole. Ed a lui pure è dovuta l'applicazione del forno ad arco voltaico alla produzione artificiale del diamante, mediante una soluzione soprassatura di carbone nella ghisa — carbone che viene abbandonato da questa quando la temperatura si abbassa, e, sotto pressioni enormi ingegnosamente prodotte, si deposita cristallizzato —.

Con forni elettrici di tipi svariatissimi — applicando all'ossido di calcio la proprietà che alcuni ossidi alla temperatura dell'arco, invece che dare il metallo, ne danno il carburo — si prepara il carburo di calcio destinato alla produzione dell'acetilene — la cui diffusione, divenuta rapidamente enorme, non sarebbe stata affatto possibile, quando esso avesse dovuto ottenersi mediante l'*uovo elettrico*, come nella sintesi operata nel 1862 dal Berthelot, o, meno ancora, col metodo del Woehler; e lo divenne invece dopo che il Moissan, in una memoranda Nota letta all'Accademia di Parigi il 5 marzo 1894, ebbe mostrato come il carburo di calcio cristallizzato, messo a contatto con l' acqua , la scomponga vivamente dando luogo a produzione di acetilene puro.

Tra le grandi industrie termoelettrochimiche moderne un' altra tiene posto cospicuo: quella dell'estrazione dell'alluminio, che, mercè gli speciali forni elettrici ideati dal Kiliani di Berlino e da altri, potè essere prodotto al prezzo di poche lire il chilogrammo, mentre ancora verso il 1860 il valore ne era di dieci lire per grammo (1). Ed alla preparazione del metallo aggiun-

(1) Ricordiamo su cotesto punto un particolare storico molto significante. Quando nacque il figlio di Napoleone III — lo sventurato principe che doveva finire pietosamente nello Zululand — non si credette poter provvedere in modo più lussuoso, quanto al metallo di cui fare la culla per il neonato, che usando l'alluminio: per la riduzione di un chilogrammo di metallo occorrevano allora tre chilogrammi di sodio, il cui costo era di circa tremila lire al chilogrammo: l'alluminio valeva perciò circa il triplo dell'oro. Aggiungiamo che i forni moderni per l'estrazione elettrolitica dell'alluminio — aventi superficie interna di appena qualche decimetro quadrato — sono invenzione tra le più meravigliose, dal punto di vista della facilità con cui consentono all'uomo d'impiegare e governare quantità enormi d'energia. In quelli con cui a Neuhausen presso Sciaffusa si utilizza — dal 1890 circa — convertendola in elettrica, una parte dell'energia della celebre cascata del Reno, sebbene la potenza assorbita sia di circa seicento cavalli dinamici, un solo operaio basta al governo, ed il lavoro ordinario si riduce ad introdurre in essi, ad intervalli, la terra alluminosa e spillarne il puro metallo. Non vi è altra forma dell' energia, la quale permetta, come la corrente elettrica, di avere sottomano comodamente in uno spazio altrettanto piccolo una quantità così grande di energia, non esaurientesi in un istante — come quella di un esplosivo — ma continuamente operativa.

giamo quella dei bronzi, meravigliosi e preziosi per leggerezza, dotati di proprietà meccaniche veramente singolari, sicchè con essi è consentito il ridurre ad un terzo la sezione — e quindi, all'incirca, il peso — dei pezzi.

Altre numerose applicazioni avevano, alla fine del secolo, cotesti forni elettrici, divenuti ben presto strumento prezioso di ricerche per la scienza, fattore di produzione importante e di prosperità economica per l'industria. Nominiamo tra esse quelle alla preparazione del *nero di acetilene* e del carburundum: nominiamo anche il processo di fucinatura elettrica dei metalli ideato dai belgi Lagrange e Hoho; processo che permette di conseguire risultati non ottenibili con alcun altro (1).

Di entrambi i modi, poi, con cui la corrente elettrica fornisce calore si ebbe un'applicazione — che acquistava la più larga diffusione — nella illuminazione elettrica, sulla quale sarà a soffermarsi.

Leggermente anteriore a quelli per la illuminazione ad incandescenza, i tentativi per trarre partito dalla luce dell'arco voltiano — penosi, svariatissimi — si aggirarono per lungo spazio di tempo in ricerche approdate a buoni risultati per lampade da gabinetto, o laboratorio scientifico, ovvero da faro — per i quali il costo della lampada può fino ad un certo punto considerarsi come secondario — sterili, invece dal punto di vista di lampade atte alla « industria » della illuminazione (2).

Fino al 1840 l'arco voltiano era stato prodotto, e veniva regolato, unicamente col muovere a mano i carboni: il mezzo non avrebbe potuto, evidentemente, servire per un'applicazione pratica.

Poco dopo, però, si tentava di rendere automatico cotesto moto, col ricorrere a rotismi d'orologeria operanti sui carboni.

Vi riusciva primo — a quanto sembra — Tomaso Wright nel 1845, al cui regolatore — un rotismo, appunto, d'orologeria che comandava il movimento di due dischi di carbone aventi la circonferenza tagliata a V e tra i quali si formava l'arco — tenevano dietro ben presto quelli di Staite e Edwards — 1846 —; di Staite e Petrie — 1848 —; del Foucault — stesso anno —;

(1) Il processo di cui parliamo apparve alla Esposizione Colombiana di Chicago sotto il nome usurpato di *sistema Burton*: il brevetto Burton fu però ben presto dichiarato nullo. Con cotesto processo, producendo l'arco voltiano, entro un liquido opportuno, tra una lamina conduttrice — non attaccabile dal liquido stesso nemmeno sotto l'azione elettrolitica — ed il pezzo da fucinare fissato all'elettrolodo negativo, si portano all'incandescenza in pochi secondi grosse sbarre di acciaio — in seguito a svolgimento di calore ben superiore a quello fornito dell'arco ordinario, forse a motivo della resistenza grande opposta alla corrente dall'atmosfera di idrogeno svolgentesi per elettrolisi ed avviluppante la parte immersa della sbarra. — È un processo con cui — perchè tanto cospicuo e rapido il riscaldamento — si può portare perfino al calor bianco la parte superficiale senza che si riscaldi l'interna, dando così allo strato temperato quello spessore che meglio conviene, e lasciando all'interno, con la struttura ordinaria, una maggiore tenacità; con cui è possibile localizzare l'azione rivestendo d'involucro isolante ed incombustibile — tela d'amianto, ad esempio — la parte che non dev'essere temperata; con cui, infine, il calore può essere ancora aumentato, col tenere, anzichè sommersa, semplicemente a contatto con la superficie del liquido la parte da rendere incandescente — con che si ottiene che si svolga anche calore per la combustione dell'idrogeno a spese dell'ossigeno dell'aria —.

(2) Per vero dire non era di facile risoluzione il problema di costruire un meccanismo che fosse insieme robusto, sensibile, e poco costoso, quale occorreva per la illuminazione industriale ad arco, tenendo conto degli uffici che il meccanismo stesso deve compiere, e che sono: staccare i carboni al primo giungere della corrente perchè l'arco possa formarsi, avvicinarli man mano che si vanno consumando, permettere che, non appena la corrente è tolta, essi vengano a contatto perchè la lampada sia pronta a funzionare, e finalmente, in molti casi, ottenere che la posizione dell'arco non muti; in quello, poi, di *lampade in serie* — nelle quali, cioè, la corrente deve passare intera da una all'altra — offrire altra via alla corrente stessa non appena si produca un guasto nella lampada.

dell'Archereau, un architetto di Rouen che per il primo pensava — 1849 — ad applicare la regolazione magnetica; del Duboscq — 1850 —.

Intanto, da una parte per l'applicazione che — segnatamente dal Duboscq — se ne era fatta agli apparecchi da proiezione, dall'altra per il grande partito che — grazie alle macchine magnetoelettriche — si cominciava ad intravvedere possibile il trarre — per la illuminazione dei fari — dalla straordinaria potenza luminosa dell'arco, l'attenzione degli studiosi si andava fissando più intensamente sul problema costruttivo di cotesti regolatori, così che in breve volgere di anni ne crebbe in modo veramente notevole il numero, e nuovi principî furono ideati come base del loro funzionamento.

Infatti nella categoria di quelle a rotismo di orologeria si aggiungevano le lampade — veramente degne di menzione per la loro bontà — del Jaspar, del Gülcher, del Serrin — 1860, la prima che si possa chiamare industriale —. Lacassagne e Thiers, ideato, per evitare i rotismi di orologeria, di valersi delle azioni di pressione ottenibili dai liquidi, creavano il tipo delle *Lampade idrostatiche*, nel quale si annoverarono poi quelle del Pascal, di Molera e Cebrian, di Sedlazech e Vikullil — la più notevole nella famiglia, e che ebbe momentanea applicazione alla illuminazione dei treni —; di Marçay e Duboscq — offrente analogia con quella *à modérateur* —; di Way — che nominiamo per ultima, sebbene rimonti al 1856, perchè si stacca completamente dalle altre ottenendovisi la luce, non da arco tra carboni, ma da una serie di archi prodotti tra le goccioline di una sottile vena di mercurio —.

Il Werdermann — 1876 — immaginava la lampada a carboni circolari, — in cui a mantenere fissa l'altezza dell'arco luminoso — si applicava la possibilità offerta appunto da carboni circolari — quando i loro sostegni fossero articolati intorno ad un asse corrispondente al loro centro di curvatura —: e nello stesso ordine d'idee inventavano regolatori F. Varley, Heinrich, Dubos, Puviland, Mandon ed altri.

Sebbene qualche tipo tra quelli accennati — a cui, per cotesto rispetto, aggiungeremo il bel regolatore di Foucault e Duboscq, del 1863 — possa pure essere considerato come industriale, l'avvenire era riservato alle *lampade differenziali*, di cui la prima si deve al russo Tschikolew — che la immaginava nel 1869 studiando la eliminazione di difetti riscontrati in altre, e la perfezionava nel 1873 —; ma delle quali determinava il successo quella del Siemens, seguita poi — per ricordare quante maggiormente si diffusero, o sono, per qualche ragione, più notevoli — dalle Brush, Weston, Thomson-Houston, Thomson-Rice, Gramme, Piette e Krisik, o Pilsen — così dette dal nome della città in cui si formò la Società proprietaria — Brianne, Sautter-Harlé, Bardon.

Per raddoppiare la durata del funzionamento, si idearono anche lampade a due paia di carboni — Crompton-Pochin, Brockie-Pell, ormai da molti anni usate per la illuminazione pubblica in Inghilterra, Körting e Mathiesen in Germania, Roumazeilles in Francia — : per economizzare energia — visto che il voltaggio a cui funziona normalmente l'arco obbliga, su le reti ordinarie di distribuzione, all'uso di *resistenze addizionali* assorbenti energia in pura perdita — si pensò a lampade a basso voltaggio, Sautter del 1889, dispo-

sizione del Schuckert per le Pilsen, Hegner, o *lampada Volta*, 1897 — così da poterle raggruppare in serie — ordinariamente di tre —; analoghe ragioni di economia in relazione pure con le tensioni di distribuzione fecero, verso la fine del secolo, riprendere in esame la vecchia idea — Staite, 1846; Varley e André, 1878 e 1879; Werdermann, 1882 — della lampada ad *arco chiuso*, su la quale Marks e Howard nel 1893 intrattenevano i congressisti a Chicago, e che, malgrado lo scetticismo di una parte non indifferente di essi, tosto nell'anno successivo, con i tipi del Marks stesso e del Jandus, entrava nel numero di quelle in uso, prendendo anzi in pochi anni, agli Stati Uniti — a motivo della sua grande semplicità — forse il primo posto in fatto di diffusione.

L' alto rendimento in luce delle lampade ad arco pose, poi, ben presto sul tappeto la questione della loro costruzione per piccole quantità di luce, e già nel 1891, a Francoforte, le Case Siemens e Halske di Berlino e Fein di Stoccarda esponevano la lampada — ben funzionante — da un *ampère*, richiedente cioè intensità di corrente pari a quella di una ordinaria lampada ad incandescenza da 32 candele. La bontà della luce Drummond ad ossidrogeno — ottenuta col rendere incandescente un cilindretto di calce mediante dardo di fiamma d'idrogeno bruciante con ossigeno puro, fatto affluire nelle proporzioni volute per la formazione dell' acqua — suggerì la produzione dell'arco alla superficie di materie refrattarie, portando alla creazione di lampade — Staite, Thion e Rezard, Baro ed altre molte — tra le quali ebbe voga quella di Clerc nota sotto il nome di *Lampe Soleil*, ma che possono considerarsi come tramontate. Finalmente la convenienza del sopprimere ogni meccanismo di regolazione aveva fatto pensare alle *candele elettriche* — Jablochkoff, Wilde, Jamin ed altre — consistenti sostanzialmente in una coppia di carboni paralleli e vicini, percorsi entrambi dalla corrente, e tra i quali, ad uno degli estremi — consumantesi in modo continuo durante l' accensione — si manteneva l'arco; candele che si dimostrarono non conciliabili con la pratica, ma tra cui le Jablochkoff vogliono essere ricordate in modo speciale, perchè la loro invenzione — 1877 — segna l'uscita su la pubblica via della illuminazione elettrica, che nel 1873, poco dopo la comparsa della macchina Gramme, aveva cominciato ad apparire nella officina.

Queste date mostrano come la illuminazione ad arco precedesse l'altra *ad incandescenza*, nella quale si andava cercando il mezzo per applicare la corrente alla illuminazione così da ottenere — oltre alla maggiore semplicità dell'organo da impiegarvisi — quel frazionamento della luce che non era consentito dall'arco.

Per essa i primi tentativi meritevoli di menzione vennero fatti a Bruxelles da Carlo de Changy nel 1844 — secondo quanto narra egli stesso (1) — indottovi dal suo « respecté professeur et ami » Jobard — pure di Bruxelles —, il quale fino dal 1838 aveva scritto nel *Courier Libéral* che « un piccolo carbone impiegato come conduttore di una corrente in una camera vuota, darebbe una lampada elettrica a luce fissa e durevole ». Furono tentativi che non approdarono ad alcun risultato pratico, ma nei quali è meritevole di

(1) *La Lumière Électrique*, a. 1882, T. VI, p. 580.

nota l'avere il de Changy avuto l'idea di sostenere — all'interno dell'ampolla di vetro, vuota d'aria — il carbone entro gli estremi di due asticelle di vetro attraversate da fili di platino.

Sorvoliamo sui tentativi — 1845, lampada a largo tubo barometrico e cilindretti di carbone — di King e Starr — un americano, di Cincinnati, trasferitosi per cotesti studi in Europa —; del Draper, pure americano — stesso anno 1845, lampade a filo di platino —; di Greener — 1846 —: di Staite — 1848, lampada a filo d'iridio —; di Petrie — 1849 —; di Robert — 1852, lampade a carbone incandescente in un mezzo inetto alla combustione —. Menzioniamo invece richiamando su le idee contenute in essi l'attenzione del lettore, gli altri tentativi del de Changy — per lampade a filo di platino semplice o leggermente carburato col riscaldarlo entro polvere di carbone prima che venisse passato alla filiera; lampade a filamento di carbone, preparato, in diverse maniere, con l'agglutinare svariate materie carbonizzate e trafilare poi la pasta così ottenuta; lampade, infine, tra cui se ne ebbero di offrenti somiglianza di disposizioni con le nostre ad incandescenza, e per le quali egli studiò anche, nel 1858, una disposizione di regolazione, atta a togliere alla lampada la corrente quando questa diventasse pericolosa —.

Non dobbiamo, poi, sorvolare su gli studi del russo Lodyguine, la cui prima esperienza si fece pubblicamente nel 1874 al « Porto delle Galere », a Pietroburgo, alla presenza di ufficiali della Marina e di altri personaggi: si rendeva incandescente un breve filamento di carbone cocke, posto, tra due grossi elettrodi in rame, entro un'ampolla sferica ermeticamente chiusa, nella quale non si faceva il vuoto per la considerazione che l' ossigeno si consumava prima che il carbone fosse tutto bruciato. Dopo quei tentativi — ritenuti dall'Accademia delle Scienze di Pietroburgo meritevoli del premio Lomonossoff di 1000 rubli, sebbene non avessero dato buoni risultati (1) — e dopo altri — esposti il 9 agosto 1874 all'Istituto Tecnologico, ma pure falliti — di Florensoff — allora ufficiale di artiglieria, poi generale — che aveva allungato la lampada per allontanare il carbone dai punti d'entrata degli elettrodi in rame, il Lodyguine modificava la sua lampada — comparsa col nome del Kozlow — ottenendo una combustione più lenta del carbone e foggiandone tipi da tavolo, da parete, e per segnali sottomarini: con otto di quelle lampade — costruite dal Didrichson ed alimentate mediante un cavo sotterraneo, con corrente fornita da una macchina dell'*Alliance* — si faceva anche, a Pietroburgo, un esperimento d'illuminazione stradale.

Ed ancora è a rammentarsi come — rovinatosi finanziariamente il Kozlow nei tentativi continui di miglioramento della lampada, e subentratogli il Kohn, già impiegato della banca del Kozlow — il Didrichson riuscisse a costruire una lampada — a chiusura ermetica, con recipiente vuoto, a commutazione automatica dei carboni alla loro rottura — della quale si fece — a Pietroburgo, nei magazzini di biancherie della Ditta Fiorent, sul Corso della Grande Morskaja — per due mesi — gennaio e febbraio del 1875 — la prova in un

(1) A motivo della differenza tra i coefficenti di dilatazione del vetro e del rame, la chiusura non era ermetica, onde, penetrando l'aria nell'ampolla, il carbone si consumava.

altro esperimento pubblico d'illuminazione. Meritevole di nota, in tutto cotesto che assegna alla Russia una parte importante negli studi per la illuminazione ad incandescenza, è pure il fatto che il Didrichson — ricercando il modo con cui il carbone si distruggeva, e convintosi che ciò avvenisse per difetto di purezza ed omogeneità nel carbone stesso — riuscisse ad un procedimento di preparazione, in cui sono idee tra quelle fondamentali per cui, poco dopo, doveva avere trionfo la lampada dell'Edison (1).

Coteste lampade — al principio del 1875 – venivano fatte conoscere nell'occidente dell'Europa dal Didrichson e dal Kohn — se ne occupavano, tra altri, a Parigi il Duboscq, il Gramme, il Fontaine, il Du Moncel; a Berlino l'Hefner Alteneck nelle officine della Casa Siemens e Halske —: nell'autunno, con successo, venivano impiegate a Pietroburgo dall'ingegnere Strouvé in lavori subacquei — riparazione di una pila del Ponte Alessandro —. Le modificava poi il Bouliguine — ufficiale della Marina russa —; e — non sapremmo precisare l'anno — il tenente Khotinsky ne portava parecchi esemplari nell'America del Nord e li mostrava all'Edison (2).

Edison.
Da fotografia.

La storia della lampada ad incandescenza deve registrare pure un brevetto — italiano — rilasciato a Ferdinando Brusotti — insegnante di fisica all'Istituto Tecnico di Pavia, e di disegno a quella Università (3) —. La lampada del Brusotti — il cui modello originario si conserva alla *Società d' Incoraggiamento d' Arti e Mestieri* in Milano — era ad ampolla di vetro contenente una spirale di platino rivestita di calce, che la corrente elettrica rendeva incandescente mercè l'arroventamento del filo di platino (4).

(1) Il Didrichson carbonizzava direttamente dei pezzi di legno tornito, mettendoli in un crogiolo in grafite — che riempiva con polvere di carbone, chiudeva quindi ermeticamente ed esponeva in seguito per dodici ore a fuoco capace di arroventarlo —.

(2) *Aperçu, etc.*, p. 41.

(3) Il brevetto Brusotti — molto interessante — ha la data del 30 Novembre 1877, ed è elencato nel Vol. 19 col N. 282.

(4) La differenza tra i coefficienti di dilatazione del platino e della calce doveva necessariamente fare che il rivestimento si sgretolasse, e così la lampada non poteva, per vero difetto organico, se non guastarsi quasi tosto messa in azione. Si è voluto tuttavia ricordarla perchè il brevetto a cui si riferisce contiene l'idea della *distribuzione in derivazione* per coteste lampade ad incandescenza. Vi si legge infatti: « Il principio su cui è fondata questa lampada fa tosto scorgere come un numero più o meno grande di queste si possono disporre lungo un medesimo conduttore elettrico, o meglio *lungo tanti circuiti da questo derivati* .... ». Aggiungasi che il Brusotti, sebbene non abbia costruito — per quanto sappiamo — altra lampada all'infuori di quella a filo di platino rivestito di calce, aveva avuto l'idea che il riscaldamento potesse ottenersi con altre sostanze « ridotte in fili, in prismi, od in laminette » quali « il ferro, *il carbone* .... »: non consta che altri pensasse, prima del Brusotti, al *filo* di carbone: la priorità dell'idea del filamento di carbone, appartiene pertanto assai probabilmente a lui; ad ogni modo non all'Edison. Fu poi grande sventura per il Brusotti il non avere veduto l'importanza immensa della sua idea della distribuzione in derivazione: così il suo brevetto, limitato all' Italia e per la durata di un anno, non venne nè esteso, nè rinnovato; e ad altri rimase la gloria — e con la gloria l'utile tutt'altro che trascurabile — di quella idea.

Nessuno dei tentativi — più o meno felici — accennati avrebbe però consentito alla illuminazione ad incandescenza il diventare pratica. Il merito di cotesto fatto è tutto di Tomaso Alva Edison, figlio di un cenciaiolo irlandese stabilitosi agli Stati Uniti, e che — dopo avere da fanciullo esercitato la professione di venditore di giornali, frutta e dolciumi sui treni delle ferrovie nordamericane — ottenuto impiego quale telegrafista presso una compagnia ferroviaria del suo paese, dotato com'era di straordinario genio inventivo, acquistava fama mondiale — ancora giovanissimo — con il *fonografo*, la *penna elettrica*, e la *sonda microtelefonica*: a cui faceva seguire la lampada ad incandescenza a filamento di bambou — del Giappone — carbonizzato (1) — meravigliosa per la sottigliezza, robustezza, elasticità del filamento stesso, per la durata, che raggiunse in alcuni esemplari perfino le 2000 ore di accensione, per la perfezione del procedimento di produzione e dei particolari costruttivi, per la estensione della scala di potenza luminosa, variabile, secondo i modelli, tra due unità e parecchie centinaia di candele —.

Fu la lampada dell'Edison — insieme alle macchine generatrici, al sistema di distribuzione e di contatura del grande americano, secondo fu gia avvertito a pag. 455 — che nel 1881, alla Esposizione di Parigi, mostrò al mondo come la illuminazione elettrica potesse realmente passare dallo stadio delle aspirazioni e dei tentativi a quello della larga applicazione. New York aveva infatti ben presto — 1882 — una *Centrale*, con rete di distribuzione in uno dei quartieri della grande metropoli, e nell'anno successivo l'Europa inaugurava pure — a Milano, con l'officina di S. Radegonda, per merito segnatamente di Giuseppe Colombo e per opera della *Società Generale Italiana Edison di Elettricità* — la serie delle sue Centrali.

Senza seguire lo sviluppo della illuminazione elettrica — sul quale qualche cenno verrà fatto tra breve — sarà da ricordarsi qui come in America la produzione delle lampade Edison andasse crescendo con rapidità enorme — arrivandovi nel 1895, secondo una statistica dell'*Electrical Review* di New York, ad occupare ben venti fabbriche con una produzione giornaliera complessiva di 30.000 lampade, il che corrisponde ad una annuale di circa 11 milioni —; come essa si attivasse ben presto anche in diversi paesi dell'Europa — primamente, 1882, nella Francia con la celebre fabbrica d'Ivry; poi nella Germania e nell'Italia —; e come con le lampade Edison entrassero ben presto in concorrenza — più o meno fortunata — altre lampade

(1) Dapprima l'Edison fece dei tentativi di costruzione di lampade a filo di platino in uno spazio vuoto od in un mezzo improprio alla ossidazione; filo che egli cercava di rendere più atto alla conservazione col purgarlo, dai gas contenuti nei pori, mediante arroventamento operato dalla corrente durante la vuotatura dell'ampolla. Ma siccome i fili, malgrado cotesto trattamento, non resistevano alla fusione, l'Edison si volse all'uso di pezzi di cartoncino *bristol* tagliati a ferro di cavallo, carbonizzati fuori dal contatto con l' aria, chiusi entro piccole ampolle di vetro vuotate di aria. Ne ebbe risultati migliori — non decisivi, perchè il carbone si consumava presto e si rompeva; di più l'ampolla si anneriva per i depositi delle particelle del carbone volatilizzantesi —; onde, fu indotto a battere la medesima via, cercando di togliere alla lampada i difetti. Trovò nel filamento della corteccia del bambou del Giappone una materia atta a preparare carboni esilissimi, assai duri, elastici, resistenti; perfezionò i processi di carbonizzazione e la vuotatura della lampada: di più, col saldare dei pezzetti di filo di platino — destinati a condurre la corrente dall'esterno della lampada al carbone, fissato ad essi per i suoi estremi — entro tubetti di vetro speciale — che fissava, a loro volta, nella parete dell'ampolla — ottenne che le variazioni di diametro del filo stesso, prodotte dal passare o dall'interrompersi della corrente, non determinassero soluzioni di continuità nella parete della lampada. Infine studiò nel modo il più ingegnoso anche la costruzione del macchinario occorrente a tutto cotesto complesso e difficile lavoro.

ad incandescenza — Swan, Maxim, Lane-Fox, Cruto, Muller, Siemens — derivazioni tutte — raramente felici — della Edison, alcune delle quali dovevano scomparire ben presto. Come avviene di ogni nuovo prodotto, per la concorrenza il prezzo commerciale di coteste lampade andò man man scemando — da poco meno che cinque lire quale era nel 1881 a poco più di mezza verso la fine del secolo —: e con lo scendere del prezzo si andò deteriorando generalmente la qualità, cosicchè, pur avendosi anche, grazie a perfezionamenti introdotti nella fabbricazione — impiego della cellulosa sciolta e filata sotto pressione per i filamenti sottili, filatura della polvere di carbone agglomerata pure sotto pressione per gli altri — maggiore durezza ed omogeneità del filamento stesso; pur ottenenendosi migliore vuotatura dell'ampolla, mercè l'impiego dei mezzi chimici di assorbimento dei gas, o delle mirabili pompe pneumatiche moderne a mercurio; pur essendo progrediti i metodi di saldatura del filamento ai sopporti; pur sapendosi, in una parola, produrre lampade — per parecchi lati — migliori di quelle del 1881, ne era notevolmente inferiore la parte maggiore che si trovava in commercio — condizione di cose non peranco mutata —.

Verso la fine del secolo erano poi in uso — parliamo sempre delle lampade ad incandescenza — altri tipi di filamento staccantisi dai consueti, e dei quali due erano particolarmente notevoli: l'uno, — filamento *Premier* — del Longhaus, a cellulosa disciolta, filata sotto pressione con aggiunta di boro o di silicio e calcinata poi al forno elettrico; l'altro del Maxim, formato da un carbone in polvere cristallizzato, densissimo, refrattario, dotato di alta resistenza elettrica, ottenuto con uno speciale procedimento di precipitazione, agglomerato mediante godrone e poi filato sotto pressione. Ed alla stessa epoca facevano la loro apparizione — frutto di ricerche intese a rendere più alto il rendimento, in luce, della lampada ad incandescenza — filamenti di osmio e di torina dell'Auer von Welsbach — l'inventore del becco, che ne porta il nome, per illuminazione a gas — nonchè — 1897 — la lampada a miscela di terre contenenti torio, ittrio e zirconio, del prof. Nernst dell'Università di Gottinga, in cui è applicata la proprietà degli ossidi di terre rare — scoperta dal Le Roux, e che già il Jablochkoff nel 1877 ed anni successivi aveva tentato di applicare riuscendo alle lampade a filamento di caolino, calce, magnesia — di diventare conduttori della corrente ad alta temperatura (1).

Non sarebbe possibile scendere a maggiori particolari per quanto riguarda i tipi delle lampade ad arco o ad incandescenza, chè una esposizione particolareggiata basterebbe a fornire materia per un'opera a sè.

Sarà piuttotto a notarsi come la illuminazione elettrica — grazie alla facilità con cui si può distribuire la energia occorrente anche per una vasta zona, grazie alla semplicità con cui s'impiantano le condotture ed alle esili dimensioni loro; grazie ai vantaggi che essa offre col non riscaldare gli ambienti

(1) In quella lampada l'automatismo dell'accensione è ottenuto in una maniera molto ingegnosa. La corrente arriva simultaneamente al cilindretto terroso e ad una spirale di platino che l'avviluppa, dividendosi fra esse. Ma siccome il cilindretto ha, a freddo, una resistenza assai maggiore di quella della spirale di platino, così la corrente stessa passa, al principio, quasi totalmente per la spirale. Senonchè il cilindretto, col riscaldarsi, si fa sempre più conduttivo, onde la corrente va affluendo ad esso ben presto con una intensità sempre maggiore. Ad un certo punto finisce per renderlo incandescente. Automaticamente, allora, la spiralina se ne stacca, salvo ritornare a contatto quando la corrente venga a cessare.

chiusi, col non viziare l'aria; grazie alla facilità e comodità con cui la lampada elettrica si accende, si spegne, si rende portatile per le esigenze della miniera, e della scena, del cassone subaqueo e del tavolino da studio; grazie alla possibilità di avere cotesta lampada per quella qualunque potenza luminosa che praticamente può occorrere — si sia diffusa con rapidità singolare.

E ciò è accaduto in tutta la superficie della Terra. Ad Hammerfest, la più nordica città dell'Europa e ad Honolulu nel semiselvaggio giardino del Pacifico, ben presto. nelle strade e nelle case, brillava la luce elettrica, come a Londra e S. Francisco, a Buenos Ayres e Capetown, a Calcutta e ad Adelaide, come nei villaggi sperduti nelle solitudini delle Alpi, o negli umili presepi della bassa Lombardia. E mentre si vedeva la lampadina sfolgorante nei teatri su la testa della danzatrice, o negli ospedali su la fronte del medico esplorante con sicurezza non usata l'oscura cavità delle fauci; mentre le grandi Esposizioni acquistavano una nuova fonte di attrattive negli spettacoli magici delle migliaia e migliaia di lampade, delle fontane luminose dai getti poderosi, colossali, altissimi, o la reclame escogitava bizzarre applicazioni del nuovo trovato all'arte del richiamare l'attenzione del pubblico, nel Canale di Suez e tra le secche dell'Elba le navi prendevano ad avanzare sicure, guidate dai potenti proiettori elettrici; si offriva all'uomo lavorante nelle viscere della terra o sul fondo delle acque un mezzo perchè il fugare le tenebre non costituisse insidia alla vita; alla umanità sofferente per mali considerati invincibili, la guarigione (1).

Ad indicare quanto sia stato il cammino percorso dal nuovo trovato, bastino poche cifre che riguardano le due città — l'una nel vecchio, l'altra nel nuovo mondo — che prime ebbero una Centrale per distribuzione di corrente a scopo appunto d' illuminazione, e che — come fu accennato — sono Milano e New York. Nella capitale lombarda le poche centinaie di lampade ad incandescenza del 1883, qualche mese dopo la fine del secolo erano diventate più che 155.000, e si contavano con esse oltre 1.100 archi; nella metropoli americana l'impianto della Società Edison — fatto nel 1882, secondo già fu detto — comprendeva in quell'anno 10.000 lampade ad incandescenza; ne contava più che 400.000 — oltre ad 8.000 archi — nel 1897.

VII.

Le unità ed i metodi di misura. La teoria elettromagnetica della luce. Le esperienze dell'Hertz e del Tesla. La scoperta del Röntgen.

Con le leggi del Joule e del Faraday siamo venuti completando la serie delle nozioni occorrenti alla esposizione riguardante le unità con cui si misurano le grandezze elettriche.

I valori di coteste unità sono relativamente recenti, poichè le ultime loro definizioni ufficiali datano solo dalla Conferenza di Chicago del 1893, e qualche nome veniva *consigliato* nel Congresso Internazionale degli Elettricisti tenutosi a Parigi nel 1900.

(1) Com'è noto, il d.r Finsen di Copenhagen trovava — poco prima del finire del secolo — nella luce dell'arco voltaico il mezzo per la guarigione del *lupus*; e sui bagni di luce elettrica si è basata tutta una branca dell'arte sanitaria.

Nè — per qualche lato — la cosa deve sorprendere. Il bisogno di misurare le grandezze elettriche era stato sentito fino dal secolo XVIII, e già in più luoghi si ebbe a fare allusione in queste stesse pagine a misure elettriche eseguite da alcuni dei sommi dei cui lavori occorse di parlare. Ma solo l'estendersi delle applicazioni ed i rapporti internazionali della industria potevano far sentire fino al punto della indispensabilità assoluta il bisogno di un sistema universale di unità di misura; mentre poi a stabilirlo tale che avesse valore anche legale — ufficialmente riconosciuto per parte dei Governi — occorreva cognizione assai estesa e profonda dei fatti e delle leggi della scienza.

Queste cause sono più che bastevoli a spiegare il come siano rimaste chiuse per poco meno di mezzo secolo nel campo aristocratico degli studiosi più eminenti delle idee che sono invece tanta parte nei sistemi di misure adottati dai fisici e dagli elettricisti. E diciamo per quasi mezzo secolo, giacchè rimontando al 1832 — Memoria del Gauss su la « misura assoluta della forza magnetica terrestre » (1) letta nella seduta del 15 dicembre di quell' anno all'Accademia delle Scienze di Gottinga, — od al periodo dal 1846 al 1857 — *Elekrodynamische Maassbestimmungen*, le pure immortali Memorie di Guglielmo Weber, cominciate con quella comunicazione nella quale è descritto il suo classico elettrodinamometro (2) e terminate con la Memoria, nella quale al nome di lui è associato quello di R. Kohlrausch, « Su la riduzione ad unità meccaniche delle misure d'intensità delle correnti » (3) — si ritrova di nettezza sorprendente il concetto delle definizioni moderne delle unità assolute di forza e di quantità di magnetismo (4), o di elettricità statica (5): ed anzi — col Weber — perfino la proposta di tutto un sistema armonico di unità assolute. Aggiungiamo ancora che — Maxwell, in *British Assoc. Report* della Riu-

(1) « *Intensitas vis magaelicae terrestris ad mensuram absolutam revocata* » Vol. VIII, a. 1841 dei Commentari. di quell'Accademia, o KARL FRIEDERIK GAUSS. WERKE, T. V, p. 79 a 118, Göttingen, 1867.

(2) Gli accennati lavori del Weber si trovano nelle *Abhandlungen* della Società Reale delle Scienze dl Sassonia. La prima delle quattro monografle è nel volume pubblicato straordinariamente dalla *Fürst. Jablonowsk. Gesellsch.* per il secondo centenario della nascita del Leibnitz, ed è riportata nel Tomo LXXIII, a. 1848, p. 193 a 240, degli Annali del Poggendorff. La seconda — che riguarda in modo particolare la misura delle resistenze — e la terza — il cui oggetto speciale è in fatti del magnetismo — sono nel T. I delle citate *Abhandlungen* — anno 1852 — rispettivamente da pag. 197 a 382, e 483 a 578. La quarta — di cui l'argomento è indicato sopra nel testo — si trova nelle stesse *Abhandlungen* — Tomo III per la Classe di Matematica e Fisica, V della intera collezione, a. 1857, pag. 219 a 292 —. Si è in cotesta insigne Memoria che si riconduce a misure assolute anche la elettricità libera, positiva o negativa, e si determina, esprimendola mediante le stesse unità, la quantità assoluta di elettricità che attraversa nell'unità di tempo una sezione qualunque di un conduttore che sia la sede di una corrente uguale all'unità; quantità che Kohlrausch e Weber trovavano uguale a 155·370 milioni di unità di elettricità positiva ed altrettante di negativa, ossia, nel complesso, a 310·740 milioni di unità di elettricità statica, quale l'aveva definita il Weber — V. Nota 5.ª qui sotto. — Su la importanza immensa di questo rapporto — che, quando si armonizzino le unità, diventa 31.074.000.000 — dal punto di vista delle relazioni tra l'elettricità e la luce — e quindi dell'unità delle energie fisiche — si discorrerà più avanti.

(3) Se ne trova un riassunto del Verdet in *Ann. de Ch. et de Phys*, a. 1857, T. XLIX, p. 115 a 127.

(4) Sono del Gauss. Egli nella Memoria citata sopra — dopo avere detto che bisogna riferire la forza magnetica all'unità di distanza, all'unità di massa, ed all'unità di forza, e che per questa si può assumere la « forza acceleratrice generante nell'unità di tempo una variazione di velocità uguale all'unità nella direzione stessa del movimento », dà, sull' unità di quantità di magnetismo, le definizioni seguenti : « l' unità di quantità di fluido boreale sarà quella la cui forza ripulsiva per un' altra identica ad essa, posta a distanza uguale ad 1, equivarrà alla forza motrice 1, vale a dire all'azione della forza acceleratrice 1 su la massa 1 : lo stesso varrà per l'unità di quantità di fluido australe: in siffatta determinazione, manifestamente, tanto il fluido agente quanto quello su cui si agisce devono concepirsi concentrati in un punto ».

(5) È del Weber, il quale la definisce: « la quantità di elettricità che, essendo concentrata in un punto ed agendo su una quantità uguale del medesimo fluido, similmente concentrata in un punto e posta all'unità di distanza, esercita una ripulsione uguale all'unità di forza ».

nione di Newcastle-upon-Twine, agosto e settembre 1863, p. 147 — si trova in una Memoria dell'Helmholtz letta alla Società di Fisica di Berlino nel 1847 ed in un'altra del Kelvin rimontante al 1848 — *Trans.* della *British. Assoc.* — la determinazione della forza elettromotrice mediante principî strettamente meccanici.

Si è al 1861 che si può fissare l'inizio di una azione non individuale, intesa a stabilire con precisione i valori — e realizzare i campioni relativi — delle varie unità, occorrenti agli studi ed alla pratica dell'elettricità.

Il merito ne spetta alla *British Association for the Advancement of Science*, che nella trentunesima riunione annuale — quella appunto del 1861, tenuta a Birmingham — su proposta di sir. W. Thomson — Vegg. *Phil. Trans.* T. CLXIV, a. 1874, p. 1, Mem. del Latimer Clark — nominava — *Report of Thirty-first Meeting*, pag. XXXIX — una Commissione — costituita da Williamson, Wheatstone, W. Thomson, Miller (di Cambridge), Matthiessen, e Fleeming Jenkin — la quale riferisse su un campione di resistenza elettrica, e poneva a disposizione della Commissione la somma di cinquanta sterline (1).

Fu quello l'inizio di un lavoro serio, vasto, importantissimo — del quale la grande ed autorevole Associazione si occupava poi per una lunga serie di anni (2) — coronato dallo stabilirsi di un sistema di unità, che entrava per qualche tempo nella pratica appunto col nome di *Sistema dell'Associazione Bri-*

(1) Alla stessa Riunione — Vegg. nel *Report*, p. 37 della seconda parte, *Transactions* delle sezioni — il Latimer Clark e Carlo Bright richiamavano l'attenzione della Associazione su la convenienza di stabilire una serie di campioni per misure elettriche — e precisamente quelli dell'unità di forza elettromotrice, dell'unità assoluta di quantità, dell'unità di corrente, e dell'unità di resistenza — invocando anche il concorso e l'autorità dell'Associazione perchè venissero introdotti nella pratica. Mettevano inoltre in rilievo la necessità dell'adozione di nomi per le diverse unità, allo scopo di adattare il sistema alle esigenze della telegrafia pratica.

(2) Nella riunione del 1862 — a Cambridge — la Commissione — *Report*, pag. 125 a 163 della prima parte, riservata ai *Reports of Resaarches in Science* — in una relazione provvisoria notificava di non avere potuto compiere il lavoro affidatole, a motivo della difficoltà ed importanza della materia, che obbligava alla risoluzione di due questioni diverse: fissare, cioè, il valore della unità, e trovare la forma ed il materiale migliori per farne un campione Tra i criteri adottati nel fissare il valore dell'unità sono notevoli quello che vi è enumerato per il secondo — che l'unità di resistenza dovesse avere una relazione definita con le unità da adottarsi per misurare la quantità di elettricità, la corrente e la forza elettromotrice — e l'altro che la unità fosse basata, sul sistema metrico francese, a preferenza che sul sistema di misure in uso nell'Inghilterra. La Commissione stabiliva inoltre di comunicare le sue deliberazioni — con preghiera di suggerimenti — a parecchi fisici tra i più eminenti, chiamando così a collaborare — sia pure indirettamente — la scienza svedese con l'Edlund, la tedesca con il Fechner, il Kirchhoff, il Neumann, il Poggendorff, Werner Siemens ed il Weber, l'americana con l'Henry, la russa col Jacobi, l'italiana col Matteucci, la francese col Pouillet. Nella riunione poi del 1863 — agosto e settembre a Newcastle-upon-Twine; Vegg. *Report*, pag. XXXIX, e 111 a 176 della prima parte — si leggeva una importante relazione in cui si metteva in rilievo il concetto fondamentale, venuto « dopo matura considerazione » che « il sistema delle così dette unità elettriche assolute, basato su misure esclusivemente meccaniche, non solo è il migliore di quanti siano stati proposti fin qui, ma è anche l'unico conveniente nello stato presente delle nostre cognizioni, tanto su le relazioni esistenti tra i diversi fenomeni elettrici, quanto sul nesso tra questo e le misure fondamentali di tempo, spazio e massa ». In quell'importante documento si stabilivano per conseguenza concetti fondamentali come questi: « L'unità di corrente trasporta la quantità uno di elettricità nell'unità di tempo; l'unità di corrente deve essere prodotta in un conduttore di resistenza uno dall'unità di forza elettromotrice; l'unità di corrente propagantesi in un conduttore di lunghezza uno deve esercitare la forza uno su l'unità di polo all'unità di distanza ». Per tal modo, ad avere da queste le definizioni delle unità elettromagnetiche assolute, ora universalmente accettate, non mancava che il fissare la grandezza delle unità di lunghezza, di tempo, di forza — il che veniva fatto dalla stessa *B. A.* più tardi, come si dirà tra breve. — Ed ancora nello stesso rapporto, in una nota a pag. 117, si davano pure le definizioni — quali usiamo oggi — del campo magnetico, dell'unità di polo magnetico o di quantità di magnetismo, di intensità di campo, di campo uniforme; mentre poi in uno degli allegati — il C. pag. 130 a 163 — il Maxwell ed il Jenkin, con tutta l'acutezza della loro mente, con tutta la profondità della loro dottrina, sviscerayano l'argomento delle « relazioni elementari tra le diverse misure elettriche, arrivando a stabilire — pag. 158 e seg. — un prospetto di una perspicuità insuperabile, nel quale da tre unità fondamentali — lunghezza, tempo, massa — i cui valori erano, essi soli, considerati come arbitrari

tannica o *Sistema B.A.* e dalla pubblicazione di un manuale illustrativo, la cui preparazione veniva annunciata nella riunione di Belfast — agosto, 1874 —.

Perchè venga apprezzata la importanza di cotesta opera ben degna di quella cospicua Associazione basterà il far riflettere come l'elettricità corresse a grandi passi verso quella meta che doveva metterla in breve — si può dire — al vertice delle industrie moderne, e come si fossero introdotte nei diversi paesi tante unità diverse da rendere tutt'altro che facile non solo le definizioni nei contratti, ma la stessa intelligenza dei lavori teorici. Nell'esprimere la resistenza, ad esempio, chi usava l'unità del Wheatstone, o quelle del

e si lasciava ad altri lo scegliere, si derivavano le espressioni delle *unità meccaniche* — lavoro, forza, velocità — delle *unità magnetiche* — intensità di polo, momento di un magnete, intensità di campo magnetico — delle unità di elettricità sotto forma di corrente, o *sistema elettromagnetico*, e di quella nelle condizioni caratterizzanti le cariche statiche, o *sistema elettrostatico* — per entrambi: quantità di elettricità, intensità della corrente elettrica, forza elettromotrice, resistenza di un conduttore. — La Commissione aveva anche provveduto a studiare le questioni della scelta di un materiale per il campione della unità di resistenza, e della inalterabilità di esso rispetto al tempo ed all'uso. Essa, poi, era riconfermata, aumentata col chiamare a farne parte il Joule e C. F. Varley,; e ne veniva allargato il compito col denominarla *Commissione dei campioni elettrici* —. Riassumiamo, poi, in un elenco cronologico le indicazioni dei lavori ulteriori, quali risultano dalle relazioni presentate nelle Riunioni degli anni successivi, avvertendo che le indicazioni di pagine si riferiscono alla prima parte del volume dei *Reports* riguardante la rispettiva Riunione. — *Riunione di Bath* — settembre 1864, pag. 345 a 367 —: la Commissione, riconfermata, comunica essere stati verificati nuovamente i campioni del 1863, esserne stati costruiti di nuovi, e come l'essere l'errore di questi ridotto al 0,16 per cento costituisse un grado di esattezza bastevole ad autorizzare la costruzione di un campione definitivo. — *Riun. di Birmingham* — settembre 1865, pag. 308 a 313 —: non solo fu compiuto il lavoro della costruzione di un campione definitivo, ma ne vennero costruite molte riproduzioni — tra cui, dal Matthiessen, due in fili di platino, due in lega di oro ed argento, due in platino iridio, e parecchi in mercurio, giusta le idee ripetutamente ed insistentemente caldeggiate da Werner Siemens —: un esemplare venne donato ai Direttori dei telegrafi di Francia, Austria, Belgio, Spagna, Italia, Portogallo, Prussia, Svezia e Norvegia, Russia, India, Queensland, Victoria, Nuova Galles del Sud; sedici copie furono vendute, e primo acquirente fu il Faraday. — *Riun. di Dunder* — settembre 1867, pag 474 a 522 —: della relazione sono importanti l'allegato V, *Report on Electrometers and Electrostatic Meauserements*, del Kelvin che vi dà la descrizione dell'*elettrometro assoluto*, ed il VI su la determinazione dell'equivalente dinamico della caloria, del Joule. La Commissione risulta accresciuta di due Membri — G. C. Foster e C. Hockin — da essa aggregatisi secondo ne aveva avuto facoltà, nella Riunione di Birmingham. — *Riun. di Exeter* — agosto, 1869 p. LXXVII — la Commissione viene riconfermata; non esiste relazione di lavori. — *Riunione di Liverpool* — settembre, 1870, pag. 14 e 15 —: la Commissione propone che la *B. A.*, anzichè riconfermare la commissione plenaria, troppo numerosa e difficile a riunirsi, nomini tre commissioni, di cui due per la ricerca del miglior modo di misurazione, e costruzione del relativo campione, di capacità elettrica e di potenziale, l'altra per la unità di misura delle intensità di corrente e costruzione del relativo campione. Le commissioni vennero infatti nominate — pag. LVIII — assegnando a ciascuna 20 sterline per i lavori, e furono costituite, la prima da Balfour-Stewart, segretario, Latimer Clark e C. F. Varley; la seconda da W. Thomson, Maxwell e Fl Jenkin, segretario; la terza da Matthiessen, Williamson e Hockin segretario. — *Riun. di Edinburgh* — agosto 1871 — venne nominata — in seguito ad una comunicazione dell'Everett, pag. 29 della seconda parte — una Commissione, composta di W. Thomson, Everett, G. C. Foster, Maxwell, G. J Stoney, Fl. Jenkin, Rankine, Siemens, Bramwell, allo scopo di disporre una nomenclatura delle unità di forza e di energia; Commissione, che nella *Riunione di Brighton* — agosto 1872 — veniva riconfermata, senza che avesse presentato alcun rapporto, col mandato « di riferire su la nomenclatura delle unità dinamiche ed elettriche ». — *Riun. di Bradford* — settembre 1873, pag. 222 a 225 —: la Commissione — che veniva riconfermata con qualche modificazione, giacchè aveva cessato di farne parte il Rankine, e vi entravano il Balfour-Stewart ed il prof W. G. Adams — presentava una relazione molto importante. Veniva, infatti, stabilito fra altro che nel derivare le unità le une dalle altre dovesse assolutamente escludersi la necessità di qualsiasi fattore — potenze del 10 od altro — ma che l'intero sistema delle unità fondamentali di forza, lavoro, elementi elettrostatici, elementi elettromagnetici, dovesse essere formato adottando per tutte un « livello comune ». Si proponeva inoltre che venissero adottate come unità fondamentali arbitrarie il *centimetro*, il *grammo*, ed il *secondo* di tempo, che il sistema avesse il nome di *Sistema Centimetro-Grammo-Secondo*, e dovesse essere designato col simbolo *C. G. S.* Si proponevano inoltre i nomi di *ohm* al campione originario di resistenza, di *volt* all'unità di forza elettromotrice, di *farad* a quella di capacità, di *dynamy*, o *dynam*, o, preferibilmente, *dyne*, all'unità di forza, di *ergon*, od *ergal*, di preferenza *erg*, a quella di lavoro. — *Riun. di Belfast* — agosto 1874, pag. 255 —: in una brevissima relazione la Commissione annunciava che alcuni dei suoi Membri stavano preparando un manuale espositivo ed illustrativo di tutto il sistema risultante dal complesso dei lavori della *B. A.*; manuale che veniva infatti pubblicato dall'Everett, che era stato segretario della Commissione. — Noteremo da ultimo che il nome di *dyna* era stato proposto dall'Everett nella comunicazione sopraccennata alla Riunione di Liverpool, per la unità di forza in un sistema metro-grammo-secondo, e quello di *erg* per l'unità di lavoro in un sistema piede-libbra-secondo.

Jacobi o del Matthiessen, e chi quella del Siemens o le altre del Varley, e vi erano ancora l'unità francese e svizzera e la tedesca! Ed erano unità, per la maggior parte, assai male definite.

Però, quantunque il sistema della *B. A.* avesse acquistato larga diffusione e fosse generalmente usato dai tecnici, l'opera di quella benemerita Associazione non aveva raggiunto pienamente lo scopo, cosicchè l'Hospitalier ancora parecchi anni dopo — *La Lum Él.*, a. 1880, p. 291 — lamentava — e con piena ragione — che si avessero « non meno di *quindici* unità di resistenza, *sette* od *otto* unità di forza elettromotrice, e *cinque* o *sei* unità di intensità »; e — ciò che era ancora ben più grave — che si designassero col medesimo nome delle unità differenti.

Siffatta condizione di cose durava quando si riuniva a Parigi nel 1881 il Congresso Internazionale degli Elettricisti, cosicchè — ancora per recare un esempio molto eloquente — l'Helmholtz — MINISTÈRE DES POSTES ET TÉLÉGR., *Congrès Int. des Électr., Paris* 1881, *Compte Rendu des Travaux*: Parigi, Masson, 1882, pag. 44 — vi notava — tornata del 21 settembre — che erano in uso, come unità di misura dell'intensità, due *weber* — uno tedesco ed uno inglese — e che la confusione tra i due *weber* si andava stabilendo perfino nei libri di fisica.

L'essere stato convocato quel Congresso per atto ufficiale del Governo Francese, e l'esservi ufficialmente rappresentati ben ventotto Stati (1) offriva quindi — finalmente — la opportunità di deliberazioni che avrebbero avuto riconoscimento legale in tutto il mondo civile. Perciò il Congresso — *C. R. des Travaux*, pag, 42 e 46 — e prendeva il partito di fissare definitivamente il sistema delle unità assolute, nonchè di provvedere all'urgenza del momento definendo come meglio si poteva alcune tra di quelle pratiche (2), e

(1) L'Italia lo era dal suo ambasciatore, da Galileo Ferraris, Gilberto Govi, Valentino Piccoli e Francesco Rossetti. Il Govi, anzi, fu uno dei tre vice-presidenti esteri, onore fatto alla scienza italiana, il valore del quale non potrebbe essere messo in luce migliore che ricordando come degli altri vice-presidenti i due stranieri fossero l'Helmholtz ed il Kelvin, allora sir W. Thomson, ed i tre francesi fossero il Ferry — presidente del Consiglio dei ministri — il Carnot — allora ministro dei lavori pubblici — ed il Dumas.

(2) Ecco la prima serie di deliberazioni: « 1.° Si adotteranno per le misure elettriche le unità fondamentali: centimetro, massa del grammo, secondo. (C. G. S.); 2.° Le unità pratiche, l'*Ohm* ed il *Volt*, conserveranno le loro definizioni attuali: 10^9 per l'ohm, e 10^8 per il volt. 3.° L'unità di resistenza (ohm) sarà rappresentata da una colonna di mercurio d'un millimetro quadrato di sezione alla temperatura di zero gradi centigradi; 4.° Una Commissione internazionale sarà incaricata di determinare, con nuove esperienze per la pratica, la lunghezza della colonna di mercurio di un millimetro quadrato di sezione alla temperatura di zero gradi centigradi che rappresenterà il valore dell'ohm ». A coteste deliberazioni, costituenti la sanzione ufficiale dell'opera della *B. A*, il Congresso faceva seguire queste altre: « 5.° Si chiama *Ampère* la corrente prodotta da un volt in un ohm; 6.° Si chiama *Coulomb* la quantità di elettricità definita dalla condizione che un ampère dà un coulomb per secondo; 7.° si chiama *Farad* la capacità definita dalla condizione che un coulomb in un farad dà un volt ». Su queste ultime deliberazioni è a notarsi anzitutto che la *B. A.* non aveva mai definito le unità pratiche nè di corrente, nè di quantità; la prima, sotto il nome di *Weber* — in Germania ed in Inghilterra originariamente — si era andata introducendo poco poco. Il Congresso di Parigi provvide alla necessità di fissare e denominare anche cotesta unità, ma sostituì il nome dell'Ampère a quello del Weber. La cosa — che potrebbe apparire un grande torto verso la memoria di colui che aveva concepito per il primo, e concretato, il sistema di misure assolute — veniva giustificata per bocca dell'Helmholtz con la considerazione che la confusione portata dai due diversi valori del *Weber* in Inghilterra ed in Germania — il primo essendo dieci volte maggiore dell'unità usata dal Weber stesso — si sarebbe non solo conservata, conservando quel nome, ma si sarebbe accresciuta perchè a quei due valori sarebbe venuto ad aggiungersene un terzo — risultante dalle variazioni dipendenti dalla revisione, pur necessaria, del valore dell'ohm —. Vuole ancora essere messo in rilievo che la definizione del *farad* non è più quella della *B. A*, per quanro la *cosa definita* fosse rimasta — nella essenza — la stessa: la *B. A.*, infatti, lo aveva definito col rapporto all'unità assoluta elettromagnetica di capacità.

faceva voto che il Governo Francese si mettesse « in relazione con le altre Potenze per nominare un Comitato esecutivo, incaricato delle ricerche necessarie per stabilire delle unità ».

Cotesto Comitato internazionale veniva infatti nominato, e si riuniva a Parigi nel 1882 e nel 1884. Nella sessione del 1882 — seduta del 26 ottobre — osservandosi come le determinazioni fatte fino ad allora non offrissero ancora il grado di concordanza necessario a fissare il valore numerico dell'ohm in colonna di mercurio (1), si riteneva indispensabile che si continuassero le ricerche; che il Governo francese procurasse — a rendere più facili i confronti — che un medesimo campione, o parecchi campioni di resistenza, fossero messi a disposizione degli scienziati i quali si occupavano di misure assolute, e procurasse pure d'interessare ciascuno dei Governi rappresentati alla Conferenza a favorire gli scienziati del rispettivo paese nelle ricerche relative alla determinazione delle unità elettriche.

Watt.
Dalla medag. fatta coniare dall'Istit. degli ingegneri di Londra.

Nella riunione del 1884, poi, « si credette opportuno di dare senz'altro ritardo la definizione pratica dell'*ohm*, e quantunque non si avessero ancora dati sufficienti per assicurare che la differenza fra l'*ohm* così definito e la resistenza 10^9 unità assolute fosse minore di un millesimo, come nella prima sessione erasi stabilito che dovesse essere, quantunque anzi si fosse quasi certi di commettere un errore di alcuni millesimi, tuttavia si votò una deliberazione fissante in 106 centimetri la lunghezza della colonna di mercurio rappresentante l'unità pratica di resistenza. Per ricordare che la unità così fissata non era esattamente eguale a quella denominata *ohm*, si deliberò di dare ad essa il nome di *ohm legale* » (2). La Conferenza inoltre riformava le antecedenti definizioni del l'*ampère* e del *volt*, in modo che delle tre unità di resistenza, di corrente e di

(1) Trattandosi di stabilire un campione internazionale che avrebbe avuto ufficio analogo a quelli del metro e del chilogrammo, sarebbe occorso — a tutto rigore — non solo per la scienza, ma anche per il commercio e l'industria — che il campione stesso rispondesse al grado di precisione che si era raggiunto nella confezione degli altri due prototipi. Però, tenendo conto del lato pratico, la Commissione stabiliva la massima che l'approssimazione del valore dell'*ohm* avesse a ritenersi sufficiente quando l'errore probabile non superasse un millesimo. Ora, nella lunghezza della colonna mercuriale rappresentante l'*ohm* uguale a un bilione di volte l'unità assoluta, risultavano differenze ben maggiori secondo i diversi sperimentatori, a cagione della imperfezione dei metodi di misura. Infatti per la lunghezza di un metro, la resistenza della colonna mercuriale di 1 mm.q. di sezione, alla temperatura di zero gradi centesimali, era: nel campione della *B. A.* secondo la determinazione — corretta — di F. Kohlrausch, e nelle determinazioni del Rowland e di Lord Rayleigh e Schuster, rispettivamente, in *ohm*, di 1,0176; 0,9910; 0,9893; ossia differente nientemeno che di oltre 36 millesimi tra le misure più discordanti, e di 8 circa nelle più concordanti. Si era dunque ben lontani dal grado minimo di esattezza che molto giustamente la Commissione reputava indispensabile. — Una bella esposizione dei metodi impiegati fino a quell'epoca per la determinazione dell'*ohm* venne fatta dal Wiedemann: è riportata nel Periodico *La Lum. El.*, a. 1882, pag. 449 a 452, 469 a 472, e 493 a 495.

(2) GALILEO FERRARIS. *Sul Congresso Internazionale di Elettricità in Chicago*, 1893. In *Annali dell'Industria e del Commercio*, 1894, pubbl. del Ministero di Agr. Ind. e Comm. Roma, Bertero, 1894.

forza elettromotrice soltanto la prima fosse definita mediante un campione: la seconda lo era mediante l'unità assoluta; la terza per mezzo delle due prime (1).

Quelle deliberazioni avevano raggiunto due grandi risultati: avevano dato una norma con cui finalmente scienziati e tecnici potevano intendersi, ed al tempo stesso avevano offerto uno stimolo alla ricerca di perfezionamenti nelle misure elettriche. Questo è tanto vero ehe già nel 1889 il Congresso Internazionale degli Elettricisti avrebbe avuto quanto bastava per riformare la definizione dell'*ohm* (2), e provvedere ad una soluzione — considerata dal lato della pratica — molto soddisfacente dell'importante e complesso problema delle unità di cui appunto la pratica doveva valersi.

Però quel Congresso — che non ebbe carattere ufficiale — si limitò a deliberare su le unità meccaniche, definendo quelle pratiche di lavoro e di potenza, e dedicandone i nomi rispettivamente al Joule ed al Watt (3) —; unità che venivano poi universalmente accettate dagli elettricisti, ma delle quali quella di potenza non riusciva — nemmeno col suo comodo multiplo il *kilowatt*, e malgrado un voto solenne di quel Congresso — a far scomparire dalla pratica delle industrie meccaniche l'unità — tutt'affatto empirica — da esse usata, cioè il *cavallo-vapore* o *cavallo dinamico* — che vale circa 0,736 di *kilowatt* —.

La risoluzione completa — per la parte veramente sostanziale — del problema delle unità pratiche veniva solo nel 1893 col Congresso Internazionale degli Elettricisti convocato dall' *American Institute of Electrical Engineers*, e del quale una sezione era costituita dalla *Chamber of Delegates*, Commisione in cui erano rappresentati da delegati ufficiali i diversi Governi.

(1) Diamo testualmente le deliberazioni: — *Tornata del* 29 *aprile* 1884 — « L'*ohm legale* è la resistenza di una colonna di mercurio di 1 mm.q. di sezione e di 106 cm. di lunghezza alla temperatura del ghiaccio fondente. La Conferenza emette il voto che il Governo francese trasmetta questa deliberazione ai diversi Stati e ne raccomanda l'adozione internazionale ». — *Tornata del* 2 *maggio* 1884: « La Commissione raccomanda la costruzione di campioni primari in mercurio conformi alla deliberazione precedentemente adottata, ed insieme l'impiego di scale di resistenza secondarie in leghe solide, le quali saranno con frequenza confrontate tra loro e col campione primario. — L' *ampère* è la corrente di cui la misura assoluta è 10^{-1} unità elettromagnetiche C. G. S. — Il *volt* è la forza elettromotrice che mantiene la corrente di un *ampère* in un conduttore la cui resistenza è l'*ohm legale* ». È evidente che con quest'ultima definizione si veniva a far riverberare su l'unità pratica di forza elettromotrice l'errore che — per la forza delle circostanze — si era dovuto commettere nel fissare l'unità di resistenza. D'altra parte la Commissione — nello stato delle cose — non aveva altra via di uscita, avendo scartato una proposta del Roiti che avrebbe dato un valore dell'*ampère* abbastanza preciso per la pratica. Vegg. — pag. 15 — la interessantissima Relazione ufficiale dell'illustre fisico, in *Nuovo Cimento*, a. 1884, T. XVI, pag. 5 a 27. Un particolare interessante: tra i valori dell'*ohm* presi in esame era quello determinato dal Joule: F. Weber ed il Roiti avevano espresso — Vegg. Rel. del Roiti, p. 8 — l'opinione che il metodo usato dai Joule — metodo calorimetrico — fosse « molto inferiore agli altri, e che la cifra del sig. Joule dovesse essere abbandonata ». La difese il Kelvin, e la cifra venne ammessa. E fu bene, perchè in realtà essa — 106,22 — era molto più vicina che non il 106 a quella che la scienza designava più tardi — 1893 — e che fu di 106,3.

(2) Ai valori offerti dalle determinazioni di Lord Rayleigh e Sidgwick — 1882 —; del nostro Roiti — le cui idee ed esperienze si trovano esposte da lui in *Nuovo Cim.*, T. XI, a. 1874, p. 55; T. XII, a. 1882 pag. 60 a 64; e spec. a. 1884, T. XV, pag. 97 a 114 —; di Mascart, de Nerville e Benoit; del Glazebrook, e dello Strecker — 1884 — e dalle altre molte — erano 22 in tutto, e sono esposte per esteso a pag. 8 della Relaz. del Roiti citata qui sopra, in nota — prese in esame nel 1884 — si erano infatti andate aggiungendo — per ricordare solo le principali — le misure del Rowland — 1886? — di F. Kohlrausch — 1886 e 1887 — del Dorn — 1888 —; del Wuilleumier — 1888 —; offrenti tutte dei numeri tali da mostrare, diremo col Pellat — Rapporto preliminare, In JOUBERT, *C. R. des Trav. du Congrès Int. des Électr. Paris* 1889; Parigi, Gauthier-Villars-1890, pag. 13 a 25 — che « assumendo 106,30 per lunghezza della colonna mercuriale rappresentante l'*ohm* teorico, non si deve commettere probabilmente che un errore inferiore ad $^1/_{2000}$ » vale a dire alla metà di quello che pur aveva ammesso la Conferenza del 1882.

(3) Ecco, tradotte, le deliberazioni ufficiali: « L'unità pratica di lavoro è il *joule*. Il *joule* vale 10^7 unità C. G. S. di lavoro. E' l'energia equivalente al calore sviluppato in un secondo da un *ampère* in un *ohm*. — L'unità pratica di potenza è il *watt*. E' la potenza di un *joule* per secondo. Il *watt* vale 10^7 unità C. G. S.

Quell'autorevole Comitato (1), non solo rettificava il valore dell'*ohm*, secondo portavano le misure nuove — copiose ed accuratissime — ma provvedeva anche a dare finalmente alla pratica un sistema di unità di misura definito in modo da escludere affatto la necessità di ricorrere alle misure assolute, dava la sanzione ufficiale al *joule* ed al *watt*, e, da ultimo, definiva l'unità di misura dei coefficienti d'induzione, intitolandola all'Henry — secondo un voto caldeggiato fino dall'epoca del Congresso di Parigi dall'*Am. Inst. of Electr. Eng.* — e rendendo, così, un omaggio doveroso alla memoria di quell'insigne scienziato (2). Che se ai lavori della Conferenza di Chicago si può

(1) Lo formavano: per gli Stati Uniti, Rowland — che ebbe il meritato onore di presiederlo — Mendenhall, Carhart, Elihu Thomson, Nichols; per la Gran Bretagna, Preece, Ayrton, Silv. P. Thompson, Alessandro Siemens; per la Francia, Mascart, Violle, De La Touanne, Hospitalier, Leduc; per l'Italia, Galileo Ferraris; per la Germania, Helmholtz, Budde, Schröder, Voit, Lummer; per l'Austria-Ungheria, Sahulka; per la Svizzera, Palaz, Thury; per la Svezia, Wennmann; per il Messico, A. W. Chavez; per il Nord-America Inglese, Ormond Higman, elettricista in Ottawa.

(2) Per le importanti deliberazioni della *Chamber of Delegates* venivano a stabilirsi definitivamente: « Come UNITÀ DI RESISTENZA, l'*ohm internazionale*, che è basato sopra l'*ohm* uguale a 10^9 unità di resistenza del sistema *C. G. S.* di unità elettromagnetiche, ed è rappresentato dalla resistenza offerta ad una corrente costante da una colonna di mercurio alla temperatura del ghiaccio fondente, della massa di 14,4521 grammi, di sezione trasversale uniforme e della lunghezza di 106,3 cm. — Come UNITÀ DI CORRENTE, l'*ampère internazionale* che è un decimo dell'unità di corrente del sistema *C. G. S.* di unità elettromagnetiche e che è rappresentato abbastanza bene, per l'uso pratico, dalla corrente costante, che, fatta passare attraverso ad una soluzione di nitrato d'argento nell'acqua, ed in conformità colle annesse istruzioni, deposita argento nella ragione di 0,001118 grammi per minuto secondo. — Come UNITÀ DI FORZA ELETTROMOTRICE, il *volt internazionale* che è la forza elettromotrice, la quale, agendo in modo continuo su di un conduttore la cui resistenza è un *ohm* internazionale, produce una corrente di un *ampère* internazionale, e che è rappresentato abbastanza bene per l'uso pratico da $^{1000}/_{1434}$ della differenza di potenziale fra i poli della pila voltaica conosciuta sotto il nome di pila Clark, ad una temperatura di 15° centigradi, e preparata nel modo descritto nell'annessa istruzione — Come UNITÀ DI QUANTITÀ DI ELETTRICITÀ, il *coulomb internazionale*, che è la quantità di elettricità che si trasmette durante un minuto secondo in un circuito percorso da una corrente uguale ad un *ampère internazionale*. — Come UNITÀ DI CAPACITÀ ELETTROSTATICA, il *farad internazionale*, che è la capacità di un condensatore il quale è caricato ad una differenza di potenziale di un *volt* internazionale da una quantità di elettricità eguale ad un *coulomb* internazionale. — Come UNITÀ DI LAVORO, il *joule*, che è eguale a 10^7 unità assolute di lavoro nel sistema *C. G. S.*, e che è rappresentato abbastanza bene per l'uso pratico dal lavoro fatto in un secondo da un *ampère* internazionale in un *ohm* internazionale. — Come UNITÀ DI POTENZA, il *watt* che è uguale a 10^7 unità di potenza nel sistema *C. G. S*, e che è rappresentato abbastanza bene per l'uso pratico dal lavoro fatto nella ragione di un *joule* per secondo — Come UNITÀ D'INDUZIONE l'*Henry*, che è l'induzione in un circuito, quando la forza elettromotrice indotta in questo circuito è un *volt* internazionale, mentre l'intensità della corrente induttrice varia nella ragione di un *ampère* per minuto secondo ». Aggiungiamo che veramente notevole fu la parte avuta nei lavori da Galileo Ferraris. Chi scrive — ammesso per benevolo interessamento del grande fisico, ad assistere a quelle memorande discussioni — crede doveroso il ricordare come il Ferraris abbia preso ripetutamente la parola, sia stato ascoltato sempre con grande deferenza, ed abbia vedute sempre approvate le sue idee. Qualche cosa di ciò il Ferraris ha pure dovuto lasciare intravvedere nella relazione citata a pag. 513 nota 2.ª; ma quel che egli dice non è bastevole a dare l'idea esatta della influenza da lui avuta nelle deliberazioni, e che fu degna da lui. La definizione dell'*henry*, in modo particolare, fu opera di una sottocommissione presieduta dal Ferraris, la quale riformò sostanzialmente la definizione che era stata proposta, seguendo nella riforma il concetto fondamentale esposto appunto dal delegato italiano non appena la Camera in riunione plenaria aveva preso in esame la proposta dell'*American Inst. of E. E.* — Le istruzioni, poi, accennate nella definizione dell'*ampère* riguardano: 1.° la forma del *voltametro* « per mezzo del quale una corrente elettrica vien fatta pasare attraverso ad una soluzione di nitrato d'argento » — deve avere *catodo*, parte su cui l'argento si depone, formato da « una tazza di platino del diametro non minore di 10 cm. e di 4 a 5 cm. di profodità »; *anodo*, costituito da « una lamina di argento puro di circa 30 cm.^{2} di superficie, e di 2 a 3 mm. di grossezza » —; 2.° la disposizione dell'anodo — che dev'essere sostenuto « orizzontalmente nel liquido presso la superficie di questo per mezzo di un filo di platino passato attraverso a fori praticati nella lamina, presso il contorno, in punti opposti » ed « avvolto con carta da filtro pura, assicurata al dorso della lamina per mezzo di ceralacca » —; 3.° il liquido, che « deve consistere in una soluzione neutra di nitrato d'argento puro, contenente 15 parti in peso di nitrato su 85 parti di acqua » —; 4.° la resistenza del circuito, che, per la parte metallica, non deve essere minore di 10 *ohm* ». — Infine, per quanto riguarda il campione di forza elettromotrice, la Commissione incaricata delle istruzioni per la preparazione del campione di elemento Latimer Clark era stata formata nelle persone dell'Helmholtz, Ayrton e Carhart. In realtà, però, un disgraziato accidente occorso all'Helmholtz sul transatlantico con cui faceva ritorno dagli Stati Uniti — la rottura, cioè, di una gamba, per caduta causata da moti della nave dovuti a burrasca — dapprima ritardò i lavori dellaCommissione: morto poi poco dopo — l'8 settembre 1894 — il grande fisico e filososo tedesco, la Commissione — per quanto sappiamo — non esaurì il mandato.

muovere qualche appunto (1), sta però sempre che da essi furono soddisfatte le esigenze dell'industria in modo largamente sufficiente.

In cotesto campo, nel quale abbiamo taciuto quanto riguarda le unità fotometriche, essendosene già detto in precedenza — pag. 374, nel testo e nella nota 2.ª — non ci resta — per il secolo XIX — che ricordare come, in occasione del Congresso Internazionale degli Elettricisti riunitosi in Parigi nel 1900, venisse — con l'approvazione dei Delegati ufficiali dei ventiquattro Governi rappresentanti (2), e dell'intera assemblea — raccomandata « l'attribuzione di nomi speciali alle unità *C. G. S.* di campo magnetico e di flusso magnetico », e fosse designato quello di *gauss* per il primo, quello di *maxwell* per il secondo.

Così finiva cotesta opera veramente importante di legislazione internazionale, da cui fu anche occasionata una vera congerie di studi per i quali ebbe incremento grande la scienza, e da cui ebbero origine Commissioni scientifiche di alta autorità, quale l'*Electrical Standards Commitee* creato dalla *B. A.*, come si disse — a pag. 511 in nota —.

Quanto ai metodi di misura, la esposizione, anche schematica, della loro storia richiederebbe una trattazione il cui carattere sarebbe troppo strettamente scientifico per poter trovar posto in queste pagine. Certo potrebbe almeno accennarsi all'opera — iniziata dal Poggendorff nel 1826 (3) per le misure magnetiche, e continuata, sviluppata, resa di uso corrente dal Gauss e dal Kelvin — della introduzione dello specchietto fissato alla parte mobile degli istrumenti di misura, mercè la quale, all'indice materiale, si sostituisce un raggio di luce la cui lunghezza — teoricamente — non ha limite e consente la valutazione di deviazioni di un'estrema piccolezza; potrebbe ricordarsi l'opera del Wheatstone, vivente nel *ponte* — Vegg. pag. 207, nota 1.ª — col quale si misurano comodamente e bene le resistenze ordinarie di fili, e che suggeriva al Kirchhoff il *ponte a filo diviso* assai comodo per molti casi della pratica, ed al Kelvin il *ponte doppio* — Com. alla *R. Soc.* 20 giugno 1861; V. anche *Ann. d. Ch. et de Phys.*, a. 1863, T. LXVII, p. 501 — per la misura delle resistenze piccolissime — per la cui valutazione escogitavano in seguito, metodi squisiti il Foster, il Santarelli, il Pasqualini —; potrebbe ricordarsi ancora il Poggendorff, che con gli studi del 1840 — *Ann. d. Phys. u. K.*, T. LIV, p. 161 — gettava le basi di quel *metodo di compensazione* — ideato originariamente per misurare la forza elettromotrice di una pila incostante, e divenuto poi prezioso nella misura di resistenze, di forze elettromotrici, di intensità, mercè i *potenziometri*, anche per la taratura di istrumenti industriali — a cui sono legati i nomi di parecchi fisici, segnatamente quelli del Clark e del Pasqualini. E potrebbero ricordarsi altri fatti, come questi che al Kirchoff —

(1) Vegg. la relazione più volte citata di Galileo Ferraris. A quelli che l'illustre uomo fa si potrebbe ora aggiungere che il valore del *Volta* si dovette poi riscontrare più prossimo ai $\frac{1000}{1432}$ dell'elemento Clark che non a quello fissato a Chicago.

(2) L'Italia lo era dal senatore Colombo e dall'on Cardarelli. I lavori erano stati affidati ad una Commissione internazionale — *Commission des Unités* — composta dell'Ayrton per la Gran Bretagna, De Chatelain per la Russia, Dorn per la Germania, De Fodor per l'Ungheria, Éric Gérard per il Belgio, De Hoor Tempis ancora per l'Ungheria, Hospitalier per la Francia, Lombardi per l'Italia, Kennelly per gli Stati Uniti.

(3) « *Ein Vorschlag zum Messen der magnetischen Abweichung.* » in *Pogg. Ann.*, a. 1826, T. VII, pag. 121 a 130.

Pogg. Ann., a. 1849, T. LXVI, p. 212 — è dovuta la prima misura di resistenze in unità assolute, all'Horsford — stessi Annali, a. 1847, T. LXX, p. 238 — la prima misura di resistenze di liquidi, al Kohlrausch — *Wied. Ann.*, T. XI, p. 653 — la sostituzione del telefono al galvanometro quando la natura delle correnti in gioco sia forzatamente alternativa.

Però, una enumerazione siffatta — che, anche conservata schematica, sarebbe pur sempre ponderosa — per quanto accurata, non varrebbe certo a dare una idea nemmeno pallidissima della somma enorme di lavoro consacrato alle misure elettriche; meno poi della immensa genialità nell'escogitare i metodi e nello stabilirne la teoria, o della sagacia brillante nelle indagini delle cause di errore e dei mezzi per ripararvi.

Staremo paghi, pertanto, nel notare come al finire del secolo — oltre a metodi di una squisitezza meravigliosa per le indagini da gabinetto scientifico, ed indipendentemente dall'impiego degli istrumenti che si sono andati accennando qua e là quando la opportunità lo voleva — si avessero sistemi e disposizioni veramente pratiche al servigio dell' industria e dei suoi laboratori, per le diverse misure ad essa occorrenti.

Maxwell.
Da fotog. cortes. fav. dalla gentile signora Maxwell vedova del grande scienziato.

Valgano d'esempio l'uso dell'*ohmmetro* — modelli dell'Evershed, di Ayrton e Perry, del Carpentier — od i metodi di *sostituzione*, di *confronto diretto*, della *semideviazione*, del *galvanometro differenziale*, per la determinazione delle *resistenze dei solidi*; i metodi speciali — Stroud e Henderson, Kohlrausch, elettrometrico — per le *resistenze dei liquidi;* i metodi del Munro — perfezionamento portato da lui alla modificazione felice che il Muirhead aveva fatto di un metodo originariamente ideato dal Kempe — del Kelvin, del Mance per quelle *delle pile*; del Mascart, del Blondel, dell'Arnò, del Joubert, del Lumsden, per il confronto delle *forze elettromotrici*; del Potier, di Blondlot e Curie, del Morelli, dell'Arnò per determinare con l'*elettrometro* la *potenza* — determinazione per la quale Ayrton e Sumpner ideavano il metodo geniale dei *tre voltometri*, il Fleming l'altro, geniale non meno, dei tre *amperometri* —; per la valutazione della *capacità* i metodi indiretti, come quello del Jenkin, o quelli di *riduzione a zero* del Sauty, del Gott, e — notevole ed usitatissimo — del Kelvin; per le *differenze di fase* tra una forza elettromotrice variabile e la corrente da essa generata, il metodo del Blakesley, e, per quella tra due correnti, appositi istrumenti — *fasometri*, come quello *delle tangenti*, dell'Arnò — o metodi pur essi veramente pratici, come quello dei tre elettrodinamometri, di Galileo Ferraris; per la valutazione dell'*autoinduzione* l'uso di un *campione* —

Ayrton e Perry — ovvero delle disposizioni per confronto con una resistenza — Lord Rayleigh, Joubert — o con una capacità — Pirani, Waschy e de la Touanne, Sumpner, Kempe —; per la misura dell'*induzione mutua*, mediante un' autoinduzione — come immaginò il Maxwell — o con una capacità — come insegnò il Carey Foster —.

E potrebbero ancora aggiungersi tanti metodi di uso corrente nelle svariate operazioni della *telegrafia elettrica* — terrestre e subacquea — o in determinazioni speciali — come per le *resistenze a caldo*, per quelle dei *galvanometri*, per quelle degli *elettroliti*, per i *campi magnetici*, per le *permeabilità* — o nella *campionatura* e *taratura* dei diversi istrumenti.

Certo è che solo per cotesta copia e speditezza di metodi ed istrumenti di misura, l'elettricità ha potuto progredire come branca di scienza, e fornire all'industria i fondamenti di tanti e sì importanti rami di attività, madre straordinariamente feconda di progresso e di ricchezza.

Un punto meritevole di nota, tra cotesti risultati, si è quello già accennato — pag. 509, nota 2.ª — riguardante il rapporto tra l'unità di quantità di elettricità nel sistema elettromagnetico e l' analoga quantità nel sistema elettrostatico. Esso, fin dalle prime misure di Weber e Kohlrausch, era risultato molto conforme a quello che esprime la velocità della luce. Ed il fatto, alla mente di fisici sommi, non appariva coincidenza accidentale; a J. Clerk Maxwell, poi, esso forniva un grande argomento in favore di quella teoria elettromagnetica della luce che rappresenta una delle più feconde ed ardite concezioni della filosofia naturale.

Su di essa dobbiamo una parola.

Diciamo prima però che, discorrendo — sia pure in breve — di cotesta teoria, non è possibile il passare sotto silenzio tutta l'opera filosofica del Maxwell, della quale essa — per quanto notevole — rappresenta solo una parte. È opera che ha una genesi interessante.

Innamorato dei lavori del Faraday, mente dello stesso carattere di quella del sommo sperimentatore, il Maxwell non aveva voluto leggere alcun lavoro matematico su l'elettricità prima di possedere a fondo le *Experimental Researches*.

« Io sapeva » scrive egli nella prefazione alla prima edizione del suo immortale *Trattato d' Elettricità e Magnetismo* (1) « che si credeva ad una differenza nella concezione che Faraday da una parte, ed i matematici dall'altra, si facevano dei fenomeni; cosicchè nè egli era soddisfato del linguaggio degli altri, nè questi del linguaggio di Faraday. Io ero convinto che cotesta differenza non dipendeva da errore dell'uno o degli altri, e tenevo questo convincimento da Sir William Thomson: è ai suoi consigli, al suo aiuto, come alle Memorie da lui pubblicate (2), che io devo la parte mag-

(1) Ne fu pubblicata — nel 1885, coi tipi del Gauthier-Villars di Parigi — una eccellente versione francese da G. Séligmann-Lui, con note del Cornu, del Potier e del Sarrau.

(2) Dal *Life of James Clerk Maxwell* di L. Campbell e W. Garnett — Londra, Mac Millan, 1882 — si rileva che del Thomson furono particolarmente utili al Maxwell le due Memorie: *Sul movimento uniforme del calore nei corpi solidi e omogenei e sui rapporti con la teoria matematica dell'elettricità*; e *Su una rappresentazione meccanica delle forze elettriche e galvaniche*. Si trovano nel *Cambridge Mathematical Journal*, rispettivamente del febbraio 1842 e gennaio 1847

giore di quanto ho appreso su cotesto argomento. Man mano che avanzavo nello studio di Faraday, mi accorgevo che il suo modo di concepire i fenomeni era esso pure matematico, sebbene non si presentasse sotto la forma convenzionale dei simboli del calcolo. E riconobbi che coteste idee potevano esprimersi mediante le forme matematiche consuete, e venire così paragonate a quelle dei matematici di professione. Per esempio, Faraday, nelle sue concezioni vedeva le linee di forza attraversare tutto quello spazio nel quale i matematici non consideravano che dei centri di forza agenti a distanza; Faraday faceva intervenire un mezzo là dove essi non tenevano conto che della distanza; Faraday cercava l'origine dei fenomeni nelle azioni reali esercitantisi in cotesto mezzo, mentre essi si tenevano paghi di trovarla in una proprietà di agire a distanza attribuita ai fluidi elettrici ».

Il Maxwell era condotto così a vestire di forma matematica le idee del Faraday, ed a dare alla scienza una maniera affatto nuova di trattare i fenomeni dell'elettricità.

Ecco in breve — indipendentemente da quanto, degno di lui, egli aggiunse alla Scienza nel campo dell'esperienza, e nella illustrazione dei lavori del Cavendish e del Faraday — ecco l'opera, la grande opera, del Maxwell.

Si fu nel corso di cotesta opera, vivente come organismo nel grande Trattato di Elettricità e Magnetismo ch'egli ha lasciato a monumento dell'ingegno potente, della grande attività, del grande amore alla scienza; si fu — diciamo — nel corso di cotesta opera colossale, altissima, che egli cercava appunto la spiegazione dei fenomeni elettromagnetici con una azione meccanica trasmessa da corpo a corpo grazie ad un mezzo che dovrebbe riempire lo spazio compreso tra i corpi.

Ora, la teoria ondulatoria della luce supponeva pure la esistenza di un mezzo; ed un confronto dei fatti lo diceva analogo al primo: una mente quale quella del grande filosofo inglese non poteva acquietarsi in siffatti ordini di idee senza spingersi ad una indagine ulteriore.

« Riempire lo spazio » ci dice egli stesso (1) « di un nuovo mezzo ogni volta che si deve spiegare un nuovo fenomeno non sarebbe precisamente un procedimento filosofico; al contrario, se, arrivati indipendentemente, dallo studio di due branche diverse della Scienza, alla ipotesi di un mezzo, le proprietà da attribuirsi ad esso per rendere conto dei fenomeni elettromagnetici si trovano essere della medesima natura di quelle che dobbiamo attribuire all'etere luminoso per ispiegare i fenomeni della luce, le nostre ragioni di credere all' esistenza fisica d' un simile mezzo si troveranno seriamente confermate ».

E proseguiva: « Le proprietà dei corpi sono suscettibili di misure quantitative. Noi abbiamo così il valore numerico di alcune proprietà del mezzo, per esempio della velocità con la quale vi si propaga una perturbazione, velocità che noi possiamo calcolare in base alle esperienze elettromagnetiche e possiamo osservare direttamente nel caso della luce. Se si trova che la velocità di propagazione delle perturbazioni elettromognetiche è la stessa che la velocità della luce, e ciò non soltanto nell'aria, ma in tutti gli altri

(1) Maxwell; *Trattato di Elettr.* e *Magn*, T. II, Cap. XX.

mezzi trasparenti, noi avremo delle forti ragioni di credere che la luce è un fenomeno elettromagnetico, e, con la combinazione delle prove ottiche ed elettriche, ci convinceremo della realtà di cotesto mezzo, assolutamente come, nel caso delle altre specie di materia, noi ci convinciamo per la testimonianza combinata dei sensi ».

Cotesto il ragionamento lucidissimo dell'eminente professore di fisica sperimentale dell'Università di Cambridge; ragionamento racchiudente tutto un piano di ricerche da lui condotte fino al punto massimo al quale si poteva arrivare con l'analisi, ad un punto concludente e notevole per quanto spetta all'esperienza. Da una parte, infatti, egli stabiliva le equazioni generali delle perturbazioni elettromagnetiche, studiava analiticamente la propagazione delle onde in un mezzo non conduttore, stabiliva relazioni tra l'indice di rifrazione di una sostanza ed il suo carattere elettromagnetico, nonchè tra la resistenza elettrica e la trasparenza, dimostrava come i differenti problemi su la conduzione termica di cui il Fourier aveva dato la soluzione potessero trasformarsi in problemi su la diffusione delle grandezze elettromagnetiche; in una parola riconduceva, perfino nella doppia rifrazione, i fenomeni della luce e quelli della energia elettromagnetica entro un identico cerchio; dall'altra, non si stava pago di confrontare il rapporto trovato da Kohlrarsch e Weber tra le unità elettrostatiche e le elettromagnetiche coi valori che i metodi astronomici o le esperienze del Fizeau e del Foucault avevano dato per la velocità di propagazione della luce, ma faceva egli stesso una memorabile determinazione sperimentale di quel rapporto (1) per il caso in cui il dielettrico fosse costituito dall'aria.

Così, mentre con una insigne Memoria del dicembre 1864 — « *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* », in *Phil. Trans.*, a. 1865, p. 459 a 512 — egli « facendo esprimere alle formule, nel tempo stesso di tutti i fenomeni conosciuti, tutta una classe di fatti ipotetici, le ondulazioni elettriche (2) », dava all'analisi matematica una tra le più meravigliose applicazioni, stabiliva su le salde basi di essa una teoria, la cui importanza è di primissimo ordine dal punto di vista di quella unità delle energie fisiche, alla quale hanno anelato ed anelano le menti dei sommi, e che — perchè perfezione — non può non essere nell'ordine naturale delle cose; e per di più alla teoria — con le esperienze del 1868 — portava indirettamente un argomento di fatto di un grande valore.

(1) Vegg. in *Philos. Trans.* del 1868 la relazione dell'esperienza. Questa aveva consistito sostanzialmente nell'equilibrare l'attrazione tra due dischi — elettrizzati dalle cariche elettrostatiche di una pila Gassiot di 2600 elementi al sublimato corrosivo — mediante la repulsione esercitantesi tra due eliche di filo percorse da correnti in senso inverso. Il risultato avuto dal Maxwell è 288.000.000, numero che andrebbe diminuito di circa 1 per 100, a motivo delle rettifiche, che da quell'epoca si dovettero riconoscere necessarie per il valore dell'*ohm*. Diciamo poi, giacchè se ne presenta la opportunità, che quel numero — che viene per consenso universale denotato con v — fu oggetto di molte altre determinazioni. Ricordiamo tra le più importanti quelle di Lord Kelvin, di lord Reyleigh e Schuster, di Shida dell'*Imp. College of Engineering* di Tokio, di Ayrton e Perry, dello Stoletow, di J. J. Thomson — dapprima, 1883, solo; poi, 1889, col Searle — dell'Exner, del Rowland, del Klemenčič, del Colley, dell'Himstedt, di Edward B. Rosa, del Pellat, dell'Abraham, dell'Hurmuzescu. Tutti i valori trovati — con una approssimazione sorprendente per quelli dell'ultimo ventennio — concordano nel far ritenere v identico alla velocità di propagazione della luce.

(2) HERZ. *L'identità della luce e della elettricità*. Comunic. al 62.° Congresso dei naturalisti e medici ad Heidelberg. — *In Revue Scientif.* del 26 ottobre 1889, pag. 515.

Secondo quella teoria, tra la vibrazione elettromagnetica quale la sappiamo produrre e la vibrazione luminosa, non vi sarebbe altra differenza che di rapidità: un alternatore che desse tante alternanze quante sono le vibrazioni rispondenti alla luce rossa, gialla, violetta, avrebbe nell'indotto senz'altro un corpo brillante di luce rossa, di luce gialla, di luce violetta.

Senonchè di cotesto, che esisteva nelle equazioni del Maxwell, occorreva — a dare la certezza — la dimostrazione sperimentale.

« Il sistema di Maxwell è un arco gettato attraverso ad un abisso di incognite: per fortificarne la vôlta non si potè per gran tempo che consolidarne le cosce. Lo si mise così in grado di sostenersi da se stesso; ma la sua apertura era troppo grande perchè si avesse ad azzardarsi ad edificare su di esso un monumento nuovo. Per cotesto occorreva che dei piloni sorgenti dal suolo venissero a sostenere il centro stesso dell'arco. La dimostrazione della possibilità di ottenere degli effetti elettrici o magnetici direttamente dalla luce avrebbe costituito uno di cotesti piloni e confermato la teoria: la dimostrazione dell'esistenza di onde elettriche o magnetiche propagantisi alla maniera delle onde luminose avrebbe costituito un altro argomento del medesimo valore » (1).

Hertz.

Da fotogr. donata dal grande fisico al suo allievo Garbasso, l'ill. prof. di Fisica della R. Univ. di Genova.

La « costruzione del primo pilone » non fu ancora ottenuta — per lo meno in modo diretto ed assolutamente perspicuo —. Quella del secondo si era fatta attendere, ma nel 1888 esso sorgeva bello, incrollabile, per opera di Enrico Hertz, professore a Carlsruhe. Riusciva egli infatti, non solo a trovare un mezzo semplice — *eccitatore* — per produrre delle onde elettromagnetiche ed uno meraviglioso — *risonatore* — per constatarne la esistenza; ma riusciva pure ad ottenerne la riflessione — su specchi metallici — l'interferenza, la rifrazione, la dispersione — mediante un prisma di asfalto — la polarizzazione, e tutti insomma i fenomeni fondamentali a cui dà luogo — in cotesti ordini di fatti — la propagazione delle onde luminose (2); cosicchè a piena ragione, conchiudendo la celebre Memo-

(1) Hertz, Comunicaz. citata.

(2) Le Memorie capitali dell'Hertz per cotesta parte si trovano tutte negli *Annali* del Wiedemann — a. 1887, T. XXXI, p. 421 a 448; a. 1888, T. XXXIV, p. 155 a 170, 273 a 286, 551 a 570, 609 a 620; e, stesso anno 1888, T. XXXVI p. 1 a 22, e 769 a 783. L'*eccitatore hertziano* — venne così chiamato dippoi — consisteva essenzialmente — nella forma e dimensioni originarie — in un sistema di due asticine metalliche rettilinee del diametro di 5 mm., messe l'una sul prolungamento dell'altra, terminate nelle parti affacciate da due sferine — pure metalliche — del diametro di 3 cm., all'altro estremo da due grosse sfere — metalliche, come il rimanente — del diametro di 30 cm. Le due sferine si trovavano ad una distanza di circa 7,5 mm.; le grosse, a quella — media, poichè si poteva variare — di 1 m. Le prime venivano collegate elettricamente con i termini del secondario di un rocchetto di Ruhmkorff di 50 cm. di lunghezza e 20 di diametro, eccitato da sei grandi elementi Bunsen e munito d'interruttore a mercurio. Con ciò l'Hertz otteneva, con le scintille tra le sferette, dei moti vibratori dell'etere circa diecimila volte più rapidi delle oscillazioni proprie del rocchetto; la loro durata era all'incirca di 18 *bilionesimi* di minuto secondo, al che — per la velocità di propagazione, uguale a

ria — « *Ueber Strahlen elektrischer Kraft* » — che l'Helmholtz leggeva invece di lui all'Accademia delle Scienze di Berlino (1) nella tornata del 13 dicembre 1888, poteva dire: « Nei fenomeni che abbiamo testè studiati, noi abbiamo veduto dei raggi di forza elettrica: forse anche avremmo potuto vedervi con il medesimo occhio dei raggi luminosi a grande lunghezza d'onda. Per me, i fatti osservati sembrano mettere fuori di dubbio l'identità della luce, del calore raggiante, e dei movimenti elettrodinamici ».

Cotesta grande pagina del volume della fisica sperimentale, resa possibile da osservazione di un fatto accidentale molto semplice — osservazione riuscita a quanto non avevano potuto studio e ricerche pazienti (2) — cotesta grande pagina, vergata non senza che l'autore — proprio vicino alla meta — avesse a provare un momento di scoraggiamento (3) che deve averlo profondamente turbato; cotesta grande pagina, diciamo, iniziava un capitolo tra i più ricchi ed importanti.

quella della luce — corrisponde una lunghezza d'onda di 19 metri. — Piegando — a forma di cerchio o di rettangolo — un filo metallico in modo da farne un circuito *quasi* chiuso — interrotto solo per una frazione di millimetro — si vede a cotesta interruzione un flusso continuo di scintille, quando l'eccitatore è in azione flusso che ha un massimo di vivacità — molto nettamente marcato — per una data dimensione del circuito — dipendente dalla durata della oscillazione fornita dall'eccitatore —. Coteste scintille sono suscitate da un vero fenomeno di *risonanza* elettrica, analogo alla risonanza acustica, giacchè il calcolo prova che le dimensioni del circuito a cui corrisponde il massimo di vivacità sono quelle per le quali la durata di oscillazione propria del circuito stesso è uaguale alla durata delle vibrazioni fornite dall' eccitatore. Di lì — per analogia — il nome di *risonatore* a cotesto semplicissimo organo rivelatore delle onde elettriche.

(1) *Sitzungsberichte*, a. 1888, p. 1297 a 1307. Cotesta è l'ultima delle Memorie accennate in principio della nota antecedente.

(2) Narra l'Hertz stesso: « Nel 1879 l'Accademia di Berlino aveva proposto, come argomento di concorso, di stabilire sperimentalmente una relazione qualsiasi tra le forze elettrodinamiche e la polarizzazione dielettrica degli isolanti, producendo sia una forza elettrodinamica mediante fenomeni aventi sede negli isolanti stessi, sia una polarizzazione di questi mediante le forze elettrodinamiche indotte. Io mi occupava allora all'Istituto Fisico di Berlino di ricerche su l' elettrodinamica; il signor v. Helmholtz richiamò la mia attenzione su questo argomento, e mi promise l'aiuto dell'Istituto se volevo cercare di studiarlo. Mi proposi il quesito, e calcolai quale risultato si potesse sperare di conseguire, nelle condizioni più favorevoli, dalle vibrazioni di bottiglie di Leida o di apparecchi d'induzione a circuito aperto. Il risultato fu lontano dal rispondere al desiderio; non si poteva affatto sperare di ottenere un'azione non incerta, e meno ancora un fenomeno osservabile. Rinunciai dunque ad occuparmi di cotesto argomento: per quanto mi sappia, nessuno lo ha trattato. Ma avevo, conservato l' ambizione di trovare più tardi, per una strada qualsiasi, la soluzione che abbandonavo, ed al tempo stesso la mia attenzione era vivamente attirata su tutto quanto si riferisce alle vibrazioni elettriche. Forse, però, non avrei mai scoperto una nuova forma di coteste vibrazioni senza un caso felice che me le fece ritrovare. Cotesto caso, motivo determinante delle ricerche che seguono, si presentò nell'autunno del 1886. Nella collezione di fisica della Scuola Tecnica Superiore di Carlsruhe, ove eseguii coteste ricerche, avevo scoperto ed utilizzato per il corso una coppia di termometri fatti di quelle spirali che portano il nome di Riess o di Knochenhauer. Avevo constatato con istupore che non era necessario scaricare delle grosse batterie attraverso ad una delle spirali per ottenerne delle scintille nell'altra; che al contrario, bastavano delle bottiglie di Leida, anche piccole . . . . ». HERTZ, *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft*, Lipsia, 1892. — Coteste *Ricerche* furono ristampate nella Collezione delle Opere dell' Hertz — *Gesammelte Werke von Heinrich Hertz*, Lipsia, Johann Ambrosius Barth — e costituiscono il secondo volume.

(3) E' ancora cotesto un punto molto interessante della storia dei lavori del grande scienziato; e qui pure lasceremo che lo narri egli stesso. Premettiamo che — sempre in relazione allo studio del vecchio tema proposto dall'Accademia di Berlino — egli voleva verificare in un medesimo tempo i primi due dei tre postulati occorrenti a dedurre dalle leggi della elettrodinamica universalmente accettate le equazioni del Maxwell — su le quali i fisici non erano affatto concordi —. Aggiungiamo pure che i tre postulati erano: 1° la variazione della polarizzazione dielettrica degli isolanti ponderabili esercita le medesime azioni elettrodinamiche che le correnti di uguale intensità: 2.° le forze elettrodinamiche possono produrre una polarizzazione dielettrica precisamente come le forze elettrostatiche; 3.° l'aria ed il vuoto medesimo si comportano sotto cotesto rapporto come ogni altro dielettrico. Ciò premesso, ecco come l'Hertz narra il periodo dei suoi lavori, in cui si trovò ad un punto dal vedere uscirne nientemeno che la falsità di quella teoria del Maxwell, a dimostrare la verità della quale egli aveva consacrato il suo genio e la sua attività. « In fili tesi rettilineamente » scrive egli « si producevano con nettezza sorprendente, per riflessione, le onde stazionarie, con nodi e centri che permettevano di determinare esattamente le lunghezze d'onda e di fissare la variazione della fase lungo il filo. Arrivai

La notizia che era dimostrata l'esistenza dei raggi di forza elettrica volò rapida per il mondo scientifico, e suscitò ovunque la febbre della verifica e della ricerca. I lavori nel nuovo campo accumulati in breve volgere di anni furono tanti che il solo elencarli sarebbe impresa ardua: diremo solo che il Mascart, il Rayleigh, il Boltzmann, il Blondlot, l'Abraham, il Toepler, il Wiedemann, l'Ebert, l'Hallwachs, il Narr, il Bichat, il Ritter, l'Arrhenius, il Lecher, il Lebedew, il Poincaré, il Trowbridge, il Sabine, l'Arons, il Rubens, il Drude, il Tommasina, il Bjerknes, il Dorn, l'Hall, e molti e molti altri fisici tra i maggiori si davano ad illustrare il nuovo ordine di fatti, portandovi in breve volgere di tempo quel contributo che valeva a metterne in rilievo tutta l'altissima importanza, a far fare un passo tale alla scienza da trasportarla quasi in una regione affatto nuova, assai più alta ancora di quella in cui aveva volato fino a quel giorno.

Al movimento partecipava la scienza italiana in modo glorioso, grazie al Righi, nel cui laboratorio oscillatore e risuonatore assumevano forme svariate veramente cospicue — ricorderemo del primo la disposizione *a tre scintille*, del secondo quella a lastrina di vetro con velo d'argento solcato da un tratto di un millesimo di millimetro e l'altra, pure originale e straordinariamente squisita per sensibilità, del tubetto di vetro ad aria rarefatta e fili di platino —; al Righi, nel cui laboratorio la lunghezza dell'onda ottenibile, dai 19 metri — quale era nelle prime esperienze dell'Hertz — scendeva fino a 2,6 centimetri, e con le onde elettriche si ripetevano (1) esperimenti d'ottica i più difficili e delicati, da quelli dei due specchi del Fresnel e dell'interferenza nelle lamine sottili, alla polarizzazione ellittica — nel gesso, che il Righi poteva designare come la *tormalina* delle nuove onde — alla riflessione totale, all'assorbimento — che studiava in corpi disparatissimi, quali il vetro da specchi, il marmo, i legni a fibre incrociate —. E' l'espressione della pura verità il dire che al cumulo di esperienze e di metodi escogitati ed attuati dal Righi, nonchè alla copia di fatti capitali da lui stabiliti, si deve una parte

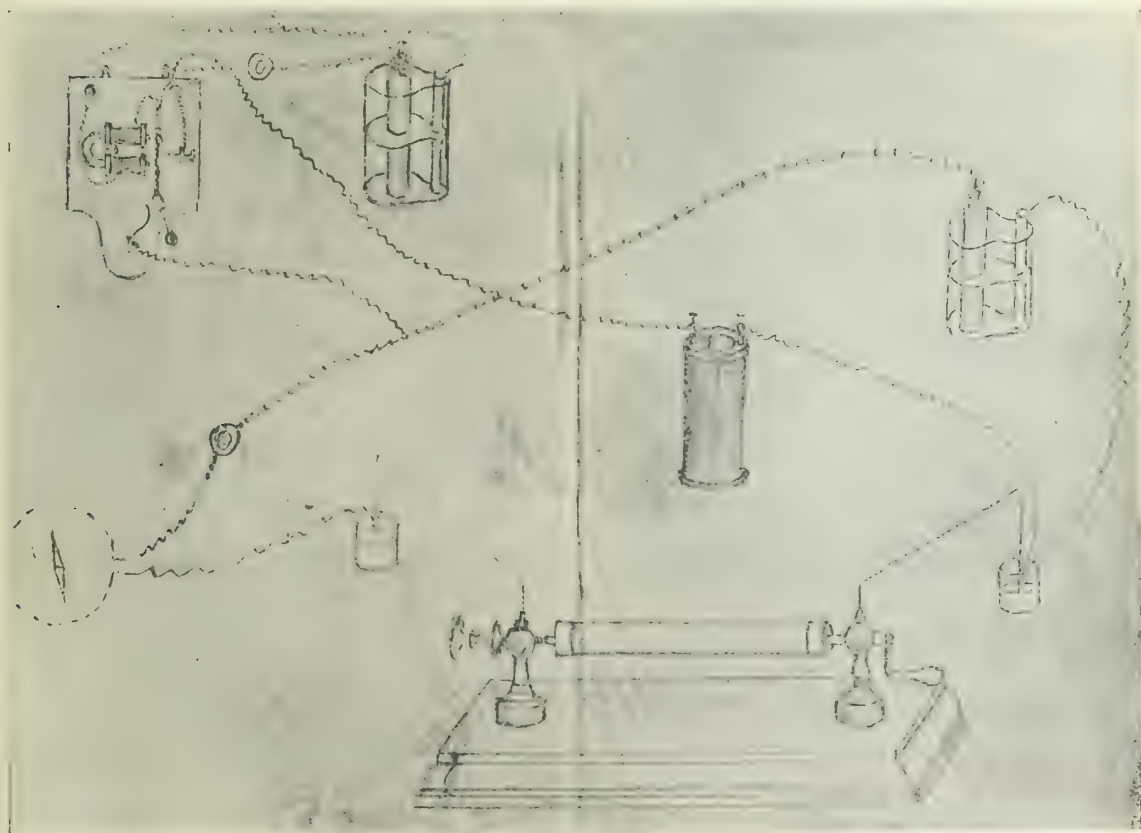
colla medesima facilità, a fare interferire l'azione propagata rispettivamente secondo il filo ed attraverso all'aria, nonchè a confrontare la loro fase. Se le due azioni possedevano una velocità finita, ed identica per entrambe, come io pensava, l'interferenza doveva prodursi per qualunque distanza, alla medesima fase. Una semplice esperienza che, con l'abitudine che possedevo, non poteva durare più di un'ora doveva risolvere in modo decisivo la questione, e portarmi di colpo, alla meta. Ma quando, disposto accuratamente l'apparecchio, feci l'esperienza, trovai che la fase dell'interferenza variava nettamente al variare della distanza, e secondo una legge tale che avrebbe corrisposto ad una velocità infinita nell'aria. Scoraggiato, interruppi le ricerche. Non fu che dopo qualche settimana che le ripresi. Mi dissi allora che il constatare che la forza elettrica si propaga con velocità infinita e che la teoria del Maxwell è falsa, aveva la stessa importanza del convincersi che, al contrario, cotesta teoria è vera; ciò che occorreva si era che il risultato fosse netto e sicuro. Studiai dunque i fenomeni con maggior cura, quali essi erano, senza preoccuparmi delle conseguenze, ed ottenni i risultati noti. Esaminando cotesti fatti con maggior precisione, vidi che la serie delle interferenze non si accordava con la ipotesi di velocità infinita, ma che occorreva, al contrario, ammettere una velocità finita, più grande che nei fili. Tentai di mettere in armonia le diverse possibilità . . . e, quantunque l'ineguaglianza delle velocità mi sembrasse inverosimile, non credetti di dovere negar fede alle mie esperienze. D'altra parte non era affatto impossibile che delle cause sconosciute, per esempio una inerzia speciale dell'elettricità libera, ritardassero il movimento nei fili . . . » HERTZ, *Untersuch.* cit.

(1) Le esperienze del Righi gli fornirono materia per una serie copiosissima di monografie di importanza veramente somma, tra le quali non possiamo non ricordare quella ponderosa, genialissima, che è nel T. IV, a. 1894, pag. 107 a 210 delle *Memorie della R. Acc. d. Sc. di Bologna.* Il lettore potrà vedere l'elenco completo — così almeno ci parve — anche delle accennate monografie, in appendice al volume *La Telegrafia senza fili* — Bologna, Zanichelli, 1903 — pubblicato dal grande fisico nostro in unione al dott. Bernardo Dessau. In quel volume, come anche nell' altro — RIGHI, *L'Ottica delle oscillazioni elettriche*, Bologna, Zanichelli, 1897 — sono esposte le splendide esperienze del Righi in questo campo eminentemente suggestivo.

notevole del progresso compiuto nello studio delle oscillazioni hertziane: nessun fisico nè italiano nè straniero fu, quanto il Righi, vero e degno continuatore immediato dell'opera dell'Hertz — rapito nel fiore degli anni alla scienza, nel 1894 —.

Ma oltre al Righi ci è caro ricordare, anche qui, altri fisici italiani. Il Garbasso — *Journ. d. Phys.*, a. 1892, p. 259 a 265 — si occupava della importante questione della risonanza multipla, risolvendo — nel senso voluto dal Sarasin e dal De-la-Rive — la questione se, dell'energia emessa dall'eccitatore, un risonatore assorba solo la parte corrispondente ad una data lunghezza d'onda, come pensavano i due fisici ginevrini, o se l'assorba tutta secondo ritenevano l'Hertz ed il Poincaré; il Salvioni — *N. Cim.*, a. 1894, T. XXXV, p. 155 — compiva notevoli ricerche su le onde stazionarie con una disposizione — celebre — del Lecher, riscontrando anomalie interessanti nei risultati ottenuti facendo uso di due *ponti*, in confronto a quelli avuti con uno; il Murani — *N. Cim.*, a. 1898, T. VIII, p. 36 — ancora su le onde stazionarie, tra altro, correggeva risultati sperimentali ottenuti dal Le Royer e dal Van Berchem; il Vicentini — *Atti del R. Ist. Ven.*, a 1895-96, T. VIII — con emulsioni di mercurio in olio d'ulive od in essenza di terebenteno, studiava l'azione delle onde elettromagnetiche su miscele di limature e dielettrici — questione intimamente connessa, come si dirà più avanti, col funzionamento del *coherer*, uno degli organi della telegrafia detta senza fili — facendo osservazioni assai istruttive sui moti suscitati da quelle onde; e dello stesso argomento dei *coherers* si occupava con merito e profitto il Malagoli — *N. Cim.*, a. 1899, T. X, p. 279 — mentre per alcuni di essi dimostrava il Marcucci — *ibid.* a. 1900, T. XI, p. 647 — che per azione di correnti a basso potenziale perdono la sensibilità. L'Agostini prima ed il Masini poi — *ibid.*, a. 1898, T. VIII, pag. 81; e 1901, T. I. p. 358 — stabilivano come fosse poco meno che nulla la « pretesa influenza » delle onde elettromagnetiche su la resistenza elettrica del selenio. Ricordiamo ancora le misure che con un oscillatore del Lebedew, capace di dare onde brevissime — di 6 mm. — il Pasquini — *ibid.*, a. 1898, T. VII, p. 153 — faceva su la doppia rifrazione elettrica dei cristalli, riscontrandola nulla nel salgemma, e trovando grande la *dispersione* degli assi nel gesso e nell'ortose; ricordiamo il bel lavoro di Boccara e Gandolfi — *ibid.*, a. 1898, T. VIII, p. 191 — sulla velocità di propagazione delle onde hertziane in mezzi dielettro-magnetici — polveri di ferro porfirizzato e parafina — lavoro dal quale usciva una delle scarse verifiche sperimentali di una importante relazione a cui conduce la teoria del Maxwell; ricordiamo in modo speciale il Mazzotto, di cui il complesso di lavori su le onde elettriche — *N. Cim.* a. 1894, T. XXXVI, p. 189; a. 1895, T. II, p. 296; a. 1896, T. III. p. 74 a 84; a. 1897, T. VII, p. 5 a 23; a. 1899, T. IX, p. 207 a 212; *Rendic. d. R. Acc. dei Lincei*, sed. del 18 ottobre 1896 — costituisce una tra le più belle applicazioni del metodo del Lecher, da lui ingegnosamente sottoposto ad esame ed esteso nella portata.

Detto ciò, dobbiamo una parola sul von Bezold, sul FitzGerald, sul Lodge, e, — per altra ragione — sul Sarasin ed il de la Rive, e per altre ragioni ancora sul Calzecchi, sul Branly, di nuovo sul Lodge, e sul Rutherford.

Il primo fino dal 1870 — « *Untersuch. üb. d. elektr. Entladung* », in *Pogg. Ann.*, T. CXL, p. 541 a 552 — aveva precorso l'Hertz in tutta una serie di osservazioni alle quali giungeva più tardi il fisico di Carlsruhe, e che questi — ignorando il lavoro del v. Bezold — pubblicava come originali nella prima delle sue monografie — quella « Su oscillazioni elettriche molto rapide », in *Wied. Ann.* a. 1887, T. XXXI, p. 421 a 448 — (1). Il FitzGerald aveva cercato di stabilire teoricamente *a priori* l'esistenza delle onde e di trovare le condizioni necessarie alla loro realizzazione (2) senza tuttavia arrivare ad alcun

Esperienze del Calzecchi-Onesti su la conduttività elettrica delle polveri metalliche.

Riprod. fotogr. dello schizzo originario, fatta per cort. conc. del ch. fisico.

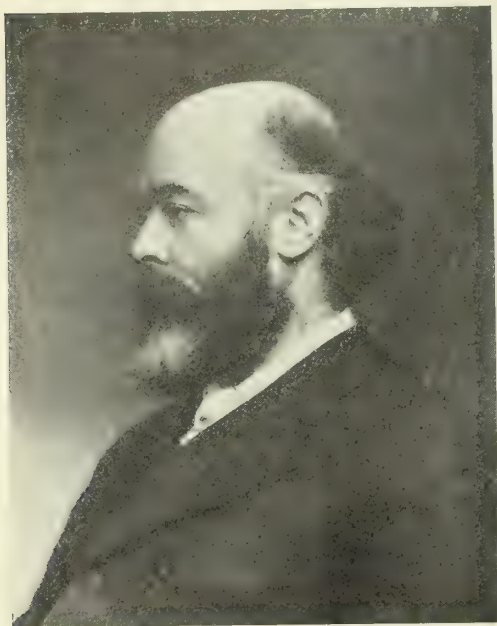
Legg. espl. — Sul davanti tubetto a limature metalliche; a sin. in alto, soneria elettr. funzion. da interruttore; nel mezzo, rocchetto d'induz.; a sin. del tubo, galvanometro per riconosc. la intensità della corr. attravers. la lim. metall.

risultato pratico; ed il Lodge — mentre l'Hertz attendeva alle sue celebri ricerche — istituiva una serie — divenuta classica — di esperienze su la scarica di condensatori piccolissimi, e, come conseguenza di ciò, era condotto alla osservazione delle vibrazioni di fili: « siccome egli si era messo assolutamente al medesimo punto di vista che il Maxwell, nessun dubbio che, ove non

(1) Il lavoro dell'Hertz reca la data del marzo del 1887, e l'attenzione di lui, invece, non si portò su quello del v. Bezold se non nell'aprile successivo, quando questi si recò a Carlsruhe per un congresso geografico. « Quel lavoro » scriveva più tardi l'Hertz — *Untersuch.*, già cit. — « mi era completamente sfuggito perchè esso sembrava a tutta prima riferirsi a tutt'altro argomento che alle vibrazioni elettriche, vale a dire alle figure del Lichtenberg ». E' inutile il dire che l'Hertz si affrettò — con una nota aggiunta alla memoria *Ub. sehr schnelle elektr. Schwingungen* citata sopra, nel testo — a riconoscere la priorità del v. Bezold; e nelle *Untersuch.* più volte ricordate riportava anzi per intero la parte in discorso del di lui lavoro.

(2) HERTZ. *Untersuchungen etc.*

fosse stato prevenuto, egli sarebbe giunto pure ad osservare le onde nell'aria e quindi a mettere in evidenza la velocità finita di propagazione della forza elettrica » (1).

Del Sarasin e del De la Rive dobbiamo dire come primi — *C. R. d. l'Ac. d. Sc.*, a. 1892, T. CXV, p. 439 e 440 — suggerissero di tenere immerse le sferette dell' eccitatore hertziano entro un liquido dielettrico; come con celebri esperienze dirette eseguite a Ginevra e comunicate pure all'*Académie des Sciences* di Parigi — sedute del 31 marzo 1891 e 26 dicembre 1892 — scoprissero la *risonanza multipla*; mettessero indiscutibilmente fuori di dubbio la uguaglianza di velocità di propagazione dell'ondulazione elettrica nell'aria e lungo i fili conduttori.

Lodge.

Da fotografia poss. dall'a.

Da ultimo dobbiamo accennare ad esperienze che hanno relazione con i fatti offerti dai due tipi di rivelatori di onde — il *coherer* ed il *detector magneticus* — che dovevano servire a tante ricerche scientifiche interessantissime, ed a quella mirabile invenzione che è la radiotelegrafia.

Temistocle Calzecchi-Onesti — allora insegnante di fisica al Liceo di Fermo, ora al Liceo Beccaria di Milano — faceva fino dal 1884 (2) uno studio sistematico di alcuni fenomeni di conduttività elettrica offerti dalle limature metalliche, e, con molti altri fatti interessanti, osservava che della limatura metallica — riempiente un cannellino di vetro o di ebanite — da isolante diventava conduttrice quando presso al cannellino scoccavano le scintille di un rocchetto ad induzione; che la limatura acquistava la conduttività, fosse aperto o chiuso il circuito della corrente impiegata ad esplorare e misurare la conduttività stessa; e che « un giro, od anche meno di un giro, comunicato al cannellino bastava perchè l'accennata proprietà sparisse ».

Nel 1890 Edoardo Branly (3) con esperienze pure veramente numerose e variate, indipentemente affatto dal lavoro del Calzecchi — rimastogli, a quanto sembra, ignoto — osservava ancor egli aumenti di conduttività delle polveri metalliche in condizioni analoghe a quelle in cui aveva operato il Calzecchi, ne faceva misure, riscontrando diminuzioni di resistenza « da parecchi milioni

(1) Hertz. *Ibid.*

(2) « Sulla conduttività elettrica delle limature metalliche ». Due Note, in *Nuovo Cimento,* a. 1884, T. XVI, p. 58 a 64 ed a. 1885, T. XVII, p. 38 a 42. Esse, quantunque la seconda sia stata pubblicata nel 1885, sono però entrambe del 1884: l'una reca la data del giugno, l'altra quella del dicembre.

(3) « *Variations de conductibitité sous diverses influences électriques* ». In *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, T. CXI, a. 1890, p. 785 a 787.

di *ohm* a 2000, od anche a 100, da 150.000 a 500, da 50 a 35 », ed osservava pure — senza però dare a ciò molta importanza — che « si sopprime pressochè completamente la variazione di resistenza con vari procedimenti, segnatamente col battere qualche piccolo colpo secco su la tavoletta portante il tubo ».

Dei lavori di Oliviero Lodge, già professore all'Università di Liverpool — personificazione eletta dell'ingegno inglese in tutta la sua singolarità di vedute, già ricordato per le misure su le velocità degli ioni e per le esperienze contemporanee a quelle dell'Hertz — sarebbe a dirsi a lungo, chè vasta è la orma ch'egli ha impresso e va imprimendo: ma ce lo vieta la grande ristrettezza dello spazio. Riassumendoci, dunque, il più sinteticamente possibile, e riservandoci di accennare ad altri lavori di lui quando si parlerà della rivoluzione operatasi, precipuamente a di lui opera nella teoria e nella disposizione dei parafulmini, diremo solo come durante e dopo i lavori dell'Hertz, egli si andasse occupando profondamente dello studio delle scariche elettriche, portando alla scienza il contributo di fatti nuovi veramente fondamentali (1); ricorderemo, poi, qui in particolare — perchè attinente all'argomento, non perchè sia in lui il maggiore titolo di benemerenza, per quanto grande esso sia — come da cotesti studi fosse condotto, non solo a disposizioni per cui la lunghezza d'onda riusciva notevolmente minore che nelle prime esperienze dell'Hertz — un metro invece che diciannove —, ma anche ad impiegare — dopo apparecchi inventati seguendo l'ordine d'idee portato da fatti osservati da S. A. Varley — quale rivelatore delle onde hertziane uno di quei tubetti a limature metalliche, di cui si erano occupati sistemati-

Fac-simile di autogr. del Lodge.

Da autogr. poss. dall'a.

University of Birmingham 1 Jan. 1904. The world is so full of interest at the present time, and Physics so rapidly advancing in the discoveries of fundamental secrets, that all one's energy should be usefully occupied, and no one's leisure encroached on. Oliver Lodge. (Università di Birmingham il 1 gennaio 1904. Il mondo è così pieno d'interesse nell'epoca attuale e la Fisica progredisce così rapidamente nella scoperta dei segreti fondamentali, che l'energia di ciascuno dev'essere utilmente impiegata, e nessuno deve sciupare il proprio tempo. Oliviero Lodge).

(1) I lavori numerosissimi del Lodge si trovano sparsi in molti periodici: per quanto a noi consta, i più importanti sono però nel *Nature*, nel *Philosophical Magazine*, nei *Proceedings of the R. Soc.*, e nel *Journal of Inst. of El. Eng.* Il lettore potrà farsi una idea sufficientemente esatta di essi e della loro importanza capitale ricorrendo segnatamente alla splendida Mem. « *Exper. on the Discharge of Leyden Jars* » in *Proc. of. the. R. Soc.* 4 giugno 1891, T. L, p. 2 a 39, ed alla monogr. *Signalling through Space without Wires* — Londra, « *The Electrician* » *Printing and Publishing Co. Ltd.* — nelle quali il Lodge dà anche la bibliografia dei suoi lavori in cotesto ordine di studi. Per quelli anteriori alle esperienze dell'Hertz — 1881 — veggansi *Phil. Mag.* T. XXVI, agosto 1888, p. 229 e appunto i *Proc. of the R. Soc.*, T. L, p. 27.

camente (1) il Calzecchi-Onesti ed il Branly, al primo dei quali i fenomeni osservati su gli aumenti di conduttività per iscoccare di scintille vicine non potevano apparire come effetto di onde elettromagnetiche, giacchè i suoi studi erano stati fatti ad epoca anteriore alle dimostrazioni sperimentali dell'Hertz; ma che avrebbero dovuto apparire nella loro luce vera al secondo —. Al nuovo rivelatore il Lodge dava nome di *coherer*.

Finalmente — tacciamo di esperienze posteriori affini, quali quelle del Minchin, dell'Aschkinass, di Wilsing e Scheiner; tacciamo pure di altri apparecchi e metodi rivelatori ingegnosissimi, che pur meriterebbero una parola, quali quelli del Boltzmann, del Drude, dello Zehnder, del Prech, del Birkeland, del Turpain, del Dragoumis (2) — E. Rutherford, allora a Cambridge, in una

(1) Diciamo « sistematicamente » perchè, dopo l'impiego delle polveri metalliche come rivelatori di onde hertziane, si trovò che antecedentemente al Calzecchi ed al Branly, altri avevano toccato cotesto argomento od argomenti affini. Il Righi — *La Telegrafia senza fili*, p. 212 — ricorda, in materia, senza per altro indicare la fonte « un'antica esperienza del Priestley nella quale delle particelle metalliche venivano fuse assieme per mezzo di scariche elettriche » : ma non si può rilevare bene il nesso che quella esperienza abbia con i fatti di cui si parla sopra. Importanti invece sono lé osservazioni ed esperienze dello svedese P. S. Munck af Rosënschöld — si trovano in una lunga Memoria complessa pubblicata in *Pogg. Ann.*, a, 1838, T. XLIII, p. 193 a 227 e 440 a 493 —; di S. A. Varley — comunicate alla *B. A.* nella riunione di Liverpool, 1870 — e soprattutto dell'Hughes — FAHIE, *A. History of Wireless Telegraphy*, Londra, Blackwood a. Sons, terza ediz., a. 1902, Appendice D —. Il primo osservava che generalmente le scariche elettriche facevano crescere la conduttività di polveri di sostanze conduttrici — carbone di legna, biossido di manganese, solfuro di mercurio — nonchè di metalli in grani; e che, in questi, la conduttività grande acquistata per l'azione di quelle scariche si perdeva completamente per scosse meccaniche impresse al tubo in cui il fisico di Lund li poneva per sottoporli all'esperienza. Il Varley, parlando dei parafulmini che costruiva per apparecchi di telegrafia, diceva come in tre casi, sotto l'influenza di forti scariche elettriche, le polveri ond'erano costruiti fossero diventate conduttrici al punto da dare passaggio alle stesse correnti deboli della telegrafia. Quanto all'Hughes, egli fino dal 1879 aveva osservato la variazione di resistenza nei contatti microfonici causata dalle scariche delle bottiglie di Leida o da estracorrenti, e la permanenza di coteste variazioni nei contatti metallici. Ma non pubblicò nulla — memmeno di altri esperimenti interessantissimi di vera radiotelegrafia eseguiti a quell' epoca, ed a cui avevano assistito, nel dicembre 1879, il Preece, il Crookes, il Roberts-Austen, il Grylls Adams, il Grove; e, il 20 febbraio 1880, lo Spottiswoode, l'Huxley e lo Stokes, — perchè lo Stokes aveva detto « che tutti i risultati potevano spiegarsi mediante gli effetti noti dell' induzione elettromagnetica » mentre l'Hughes li attribuiva « ad onde elettriche aeree » ! Aggiungiamo che la esposizione storica di quelle osservazioni ed esperienze fu provocata da un accenno fatto ad esse dal Crookes in un articolo — *Some Possibilities of Electricity* — pubblicato nella *Fortnightly Review* del febbraio 1892 : avendone il Fahie chiesto spiegazioni al Crookes, questi ne indicava come autore l'Hughes, il quale, poi, ad analoga domanda del Fahie, rispondeva con la relazione particolareggiata dal Fahie messa in appendice alla sua Storia, e che non si può leggere senza provare un senso di pena per l'inganno in cui l'Hughes fu tratto — certamente contro volontà — dallo Stokes e lo scoraggiamento venutone al grande inventore. Ritornando al punto di partenza, e cioè alle esperienze intorno alle azioni delle scariche elettriche su la conduttività delle polveri metalliche, è dovere notare quanto, a piena ragione, osserva il Righi, e cioè che « il merito, se non della prima scoperta, almeno di una indagine sistematica ed eseguita indipendentemente dai suoi predecessori, spetta all' italiano prof. Calzecchi Onesti ». Questo merito, si può aggiungere, gli fu universalmente riconosciuto dalla stampa scientifica anche americana, e Guglielmo Marconi nella celebre conferenza tenuta in Campidoglio alla presenza delle L.L. M.M. il Re e la Regina d' Italia lo ricordava pure. In cotesto consenso universale ed in cotesta notorietà, non si comprende come abbiano taciuto dei lavori del Calzecchi il Lodge nel suo *Signalling through Space without Wires*, ed il Branly nel rapporto *Les radioconducteurs* presentato al Congresso Internazionale di Fisica del 1900 a Parigi; nel quale rapporto il Branly assume senz'altro le parte di primo ed unico scopritore delle accennate proprietà delle polveri metalliche, mentre il Calzecchi lo aveva preceduto di sei anni.

(2) Le disposizioni del Boltzmann — 1890 — e del Drude — 1894 — consistono nell'impiegare la scintillina del risonatore a stabilire una continuità di circuito che permette ad uno dei poli di una pila di agire su un elettroscopio — caricandolo, nel metodo del primo; scaricandolo, in quello del secondo. Lo Zehnder — 1892 — ideò di fare che la scintillina prodotta dalle onde — quasi fosse un soccorritore telegrafico — avesse a determinare una brillante scarica di accumulatori in un tubo a gas rarefatto contenente vapori di sodio; il Prech — 1898 — di fare che le onde servissero a ridurre a scintilla le scariche a pennacchio di una macchina elettrostatica; il Birkeland — 1894 — ed il Turpain — 1895 e 1897 — con l' impiego di un condensatore, si valevano delle onde per far agire un telefono. Il Drogoumis, poi, fino dal 1889 aveva proposto l'impiego dei tubi a gas rarefatti come rivelatori di onde. — Il lettore troverà una esposizione particolareggiata e copiosissima dei metodi ed apparecchi ideati per la rivelazione delle onde hertziane nel volume più volte citato di Righi e Dessau.

importante comunicazione « *A magnetic Detector of Electrical Waves* » presentata da J. J. Thomson alla *R. Soc.*, e di cui un estratto è nei *Proceedings*, Vol. LX, apr. 1896 a febbr. 1897, p. 184 a 186 — faceva conoscere un prezioso rivelatore di onde — sul quale più tardi, nei primi anni del secolo XX, il Marconi basava un ricevitore da radiotelegrammi di una squisitezza sbalorditiva — semplicemente costituito da una parte del filo del risonatore avvolta ad elica intorno ad un ago calamitato, ed in cui il gioco delle onde consisteva in modificazioni del magnetismo dell'ago; modificazioni rese poi sensibili dai moti di un ago vicino, munito di specchietto a guisa di galvanometro.

Così, diremo a conclusione di questi rapidissimi cenni storici su la teoria elettromagnetica della luce, la matematica visione geniale del pensatore inglese aveva ricevuto una piena conferma, ed insieme la fisica era venuta in possesso, alla fine del secolo, di numerosi e svariati mezzi per la produzione e per lo studio delle onde elettromagnetiche.

Anzi, il passo fatto dalla filosofia naturale va oltre costesta realizzazione dalla visione del Maxwell. « La teoria elettromagnetica della luce quale si ricava dalla proprietà del campo elettromagnetico » — diremo per giovarci ancora una volta della parola lucida e profonda del Righi — « non vale a dar ragione di quei fenomeni, per render conto dei quali si deve ricorrere anche nelle teorie meccaniche ad un'azione della materia ponderabile sull'etere. A completare la teoria oggi accettata era dunque necessario far intervenire in qualche modo gli atomi materiali; ed il fisico olandese Lorentz ebbe la felice idea di considerare insieme agli atomi le loro cariche elettriche. Se di queste o solo quelle negative o solo quelle positive prendono parte alle vibrazioni luminose, e si tiene conto delle forze elettriche e magnetiche generate dai loro movimenti, si arriva ad una teoria elettromagnetica della luce atta a spiegare anche quei fenomeni, che sfuggivano alla teoria basata semplicemente sulle formule di Maxwell o di Hertz » (1).

Questa teoria maxwelliana era apparsa come una meta — ancora pochi anni prima che il secolo tramontasse — incerta per molti, insperata, forse, per i più. Nel grande cammino della scienza essa non era invece se non una tappa, da cui — anche per i fatti inerenti alle scariche elettriche nei gas rarefatti, dei quali si dirà tra breve — doveva essere permesso vedere altri orizzonti, ed al loro confine una vetta più alta — la teoria basata su la ipotesi degli elettroni — dalla quale sarebbe stato possibile spingere ancora più lontano lo sguardo negli spazi sterminati del vero. E quando il secolo XIX finiva, il Lorentz nelle attrazioni elettrostatiche di ioni ed elettroni — il cui agglomeramento costituirebbe la materia — cercava la spiegazione dei fenomeni medesimi della gravitazione, mentre il Wien andava rintracciando nel medesimo ordine d'idee la possibilità di un fondamento elettromagnetico della meccanica. Sarebbe una nuova, una grande rivoluzione. Il Maxwell ed il Kelvin dapprima, il Boltzmann, l'Hertz ed altri, dippoi, avevano preso la meccanica per base, e ne avevano dedotto le equazioni dei fenomeni elettromagnetici; il Wien reputava giunto il momento d'invertire la strada, ed assumere come base le

(1) Righi. *La moderna teoria dei fenomeni fisici*, già cit. a pag. 495.

equazioni fondamentali dell'elettromagnetismo, per dedurne come caso particolare quelle della Meccanica. Quale progresso sarebbe!

Ma già il semplice ordine di idee portato dalla pura teoria del Maxwell aveva bastato ad aprire campi importanti alle ricerche dirette d'indole puramente sperimentale e di portata immediatamente pratica. Alludiamo alle « esperienze del Tesla » ed a quelle dell'ultimo periodo del secolo su le scariche dei gas rarefatti, dalle quali dovevano scaturire — rispettivamente — perfezionamenti nei mezzi d'isolamento e le scoperte dei *raggi del Röntgen* e della *radioattività.*

Il Tesla, vedendo nella teoria elettromagnetica della luce la prova « che le proprietà della elettricità e dell'etere sono identiche », per una lunga serie molto singolare di considerazioni, da lui esposte in una memorabile conferenza (1), era condotto a pensare che « si può, valendosi di potenziali elevatissimi e rapidamente varianti, scuotere l'etere avviluppante le molecole dei corpi, in modo da farlo vibrare ed ottenerne la emissione della luce ». E con disposizioni diverse — tra cui precipua l'alimentazione di un trasformatore speciale privo di ferro, mediante invio, nel primario di esso, delle correnti di scarica già per sè rapidissimamente oscillatoria di una batteria di Leida, caricata a sua volta dal secondario di un potente rocchetto di Ruhmkorff in azione — giungeva ad ottenere un *campo elettrostatico* a potenziali di 500.000 *volta*, ed in cui la disposizione delle cariche s'invertiva forse 1.000.000 di volte al minuto secondo. Ora, cotesto numero, certamente sbalorditivo, se è un nulla in confronto di quello — centinaia di trilioni — che occorrerebbe perchè coteste vibrazioni potessero suscitare la sensazione visiva — essere, cioè, la luce — basta tuttavia per produrre un *bombardamento molecolare* — così lo chiamò il Tesla — che vale a rendere splendenti certi corpi senza arroventarli, come splendono senza essere roventi gli organi luminosi dei vegetali ed animali fosforescenti.

Ed i più grandi scienziati dei due mondi assistevano con ammirazione — e, sia detto per la verità, non senza una certa sorpresa — ad esperienze numerose, svariatissime, nelle quali impressionavano gli effluvi elettrici violenti, schizzanti da tutte le condutture e dagli orli dei condensatori; stupiva — perchè spettacolo da leggende di fate — la vivida luce bianca onde nelle mani del fisico dalmata — senza che alcuna connessione trasmettesse ad essi l'energia — brillavano i lunghi e grossi tubi ad aria rarefatta portati nel campo elettrostatico; si vedevano aprirsi orizzonti nuovi alle indagini della fisiologia animale, quando il geniale inventore — mettendosi nelle condizioni d'essere egli stesso parte del magico campo — faceva impunemente del proprio corpo uno dei transiti dell'energia a quei potenziali che si potrebbero bene dire spaventosi (2).

Che se il Tesla non giunse, come si era proposto, ad ottenere la produzione economica della luce (3), nondimeno quegli studi rimarranno immor-

(1) Conferenza al *Columbia College*. Ne sono state date le indicazioni bibliografiche a pag. 361, nota 8.ª

(2) Dice il Tesla che quando fece la prima volta quell'esperienza, si trovava nella condizione di animo di uno che stia per saltare dal *Ponte di Brooklin*.

(3) Il Tesla partiva dal concetto che nei metodi ordinari di produzione della luce si ricorre alla incandescenza ottenuta con riscaldamento, e si viene così a spendere inutilmente una grande quantità di energia, quella che sviluppa le radiazioni colorifiche oscure. « Scienziati eminenti » diceva egli nella conferenza al *Columbia College* « consideramo come razionale il problema consistente nell'utilizzare una specie determi-

tali per la genialità delle esperienze in se; rimarranno immortali perchè essi additarono ai fisici come potessero prodursi coteste correnti ad alternanze straordinariamente rapide, e ne rivelarono molte proprietà capitali; rimarranno immortali e perchè la scienza e la tecnica acquistarono nel trasformatore da lui realizzato un importantissimo organo nuovo per ricerche, e perchè le difficoltà d'isolamento per potenziali tanto elevati portarono il Tesla a studiare ed a risolvere cotesta questione, spianando così la via alla trasmissione elettrica dell'energia alle grandi distanze.

Veniamo alle scariche nei gas rarefatti. Queste — di cui il Faraday (1) notava fino dal 1833 la somiglianza con l'aurora boreale, e più tardi, nel 1838, altri fatti ed apparenze; prodotte dapprima nell' *uovo elettrico*, od in altri recipienti, sia a tubo, sia a campana, offrenti possibilità di rarefazione con le ordinarie macchine pneumatiche — avevano servito, vogliasi ad osservare le più ovvie modificazioni della scintilla dalla forma violentemente esplosiva e biancosplendente a quella fioccosa e violetta, vogliasi, come col De la Rive — *Arch.* di Ginevra, a. 1849, T. XII, — a constatare le azioni dei magneti su le scariche stesse: si erano poi, a così dire, popolarizzate con la invenzione — 1855 o 1856 (2) — dei *tubi del Geissler* — costruttore prima ad Amsterdam, poi a Bonn — che si prestavano ad ottenere da rocchetti del Ruhmkorff, di dimensioni anche modestissime, degli effetti luminosi molto appariscenti ed eleganti.

Di cotesti tubi si valeva primo il Van der Willigen — il fisico, secondo il Verdet, che ne abbia fatto la più antica menzione — per istudiare la stratificazione della luce che dànno le scintille nei gas molto rarefatti; fenomeno sul quale era stata fatta parecchi anni prima una importante — per quanto semplice — osservazione dall'Abria (3) — professore alla Facoltà di Scienze di Bordeaux — e che il rocchetto del Ruhmkorff aveva contribuito a rendere notorio per le esperienze del Ruhmkorff stesso, del Quet — *C. R.* a. 1852, T. XXXV, pag. 949 a 952 — e del Grove — Comunicazioni alla *R. S.* di Londra dell'1 e 24 aprile e 9 luglio 1852, riassunte in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1853, T. XXXVII, pag. 376 a 383. — E da essi prendeva le mosse il Plücker — di Bonn — subito nel 1857-1858 — « *Ueb. die Einwirkung des Magneten*

nata di radiazioni, con esclusione delle altre. In un apparecchio destinato alla produzione della luce per trasformazione di energia, un risultato simile non verrà mai raggiunto, perchè, qualunque sia il modo di produzione delle vibrazioni necessarie, sia esso elettrico, chimico, o d'altra natura, sarà impossibile ottenere le vibrazioni più elevate senza passare per delle vibrazioni calorifiche più lente. E' il problema consistente nell'imprimere ad un corpo una certa velocità senza passare per le velocità minori. Ma vi è la possibilità di ottenere dal mezzo la energia non solo sotto forma di luce, ma sotto forma anche di forza motrice e sotto tutte le altre... Noi camminiamo con velocità inconcepibile attraverso lo spazio infinito: quanto ci circonda è in movimento, e l'energia è dovunque. Deve esservi un mezzo più diretto di utilizzare per noi cotesta energia » Ecco il ragionamento del Tesla. Ed in realtà il rendimento in luce, dell'energia, nel campo elettrostatico a potenziali elevati e ad altissima frequenza è grandissimo. Ma — tacendo anche di enormi difficoltà pratiche e limitandoci alla considerazione oggettiva del rendimento — il sistema del Tesla diventa disastroso per le perdite che s'incontrano nella produzione del campo.

(1) *Exp. Res.*, Serie III, § 306, e Serie XIII, § 1529 e seg.

(2) Dei tubi del Geissler si trova menzione nella Memoria « *Ueb. d. geschichtete Licht im elektr. Ei* » del Van der Willigen — *Pogg. Ann.*, a. 1856, T. XCVIII, p. 494 a 500. — Ivi lo scienziato fiammingo parla di un tubo a vuoto barometrico lungo 4 decimetri preparato per lui dal signor Geissler di Amsterdam. Siccome la Memoria porta la data — da Deventer — del 19 febbraio 1856, si presenta come assai probabile che il Geissler avesse costruito quel tubo almeno l'anno antecedente.

(3) « *Sur les lois de l'induction des courants par les courants* » in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1843, T. VIII p. 462 a 488. L'Abria, operando con un uovo elettrico e facendo scattare la scintilla tra una punta ed una sferina, aveva osservato — p. 478 — che « la fiamma, o il pennacchio, partente dal polo positivo presenta, segnatamente alla parte superiore supponendo la punta in alto, delle zone alternativamente oscure e luminose. Coteste zone sono concave verso la sferina quando la punta viene avvicinata a questa; divengono convesse quando la punta é allontanata di molto dalla sferina ».

auf die elektr. Entlad. in verdünnten Gasen », in *Pogg. Ann.*, a. 1858, T. CIII, p. 88 a 106 e 151 a 157, e « *Fortgesetze Beobach. üb. d. elektr. Entl. durch gasverdünnte Räume* » T. CIV, pag. 113 a 128 — per quegli studi, in occasione dei quali modificava anche la forma data dal Geissler, creando il tipo a cannello capillare ed a grosso rigonfiamento per l'elettrodo negativo, e che lo portavano ad osservazioni interessanti su la forma della scintilla, a studiarne proprietà magnetiche e spettro, alla conclusione che « la luce diffusa avvolgente l'elettrodo negativo si concentra, sotto l'azione del magnetismo, in linee luminose dirette secondo le curve magnetiche », e nei quali studi il Plücker osservava « una luce verde » nei punti in cui i raggi violetti venivano in contatto col vetro.

Su cotesto argomento meriterebbero poi una esposizione particolareggiata molti altri lavori, segnatamente quelli del Gassiot — « Sulla scarica elettrica *nel vuoto* mediante una serie numerosa di elementi di batteria voltiana » e « Sulla scarica luminosa di una batteria voltiana *nel vuoto* ottenuto da acido carbonico »; entrambe in *Proc. of. the. R. Soc.*, T. X, rispettivamente 26 maggio 1859 p. 36-37, e 15 marzo 1860 p. 393 a 404 — del Gaugain, del Wüllner — « Sugli spettri dei gas nei tubi del Geissler », in *Pogg. Ann.*, a. 1872, T. CXLVII, pag. 321 a 353; a. 1873, T. CXLIX, pag. 103 a 112; e « Studi su le scariche delle correnti d'induzione nei recipienti a gas rarefatti », a. 1874, *Jubelband*, pag. 32 a 60 — dello Spottiswoode — « Esperimenti sulla stratificazione delle scariche elettriche nei gas rarefatti », in *Proc. of the R. S.* T. XXIII, a. 1874-75, p. 455 a 462, e « Sulle scariche stratificate. Osservazioni con lo specchio girevole », *Ibid.* T. XXV, a. 1876-77, p. 73 a 82 — del Fernet — « Analisi dei fenomeni luminosi prodotti dalle scariche elettriche nei gas rarefatti », in *C. R. d. l'Ac. d. Sc.*, a. 1880, T. XC, p. 680 a 685 —. Ma in queste pagine basterà ricordare quelli dell'Hittorf e del Crookes.

Il primo — a cui la fisica deve un tipo speciale di tubi a gas rarefatti; tubi che egli faceva conoscere, nell'autunno del 1865, al Geissler, secondo quanto narra il Bertin, in *Ann. d. Ch. et de Phys.*, a. 1869, T. XVII p., 491 — l'Hittorf, diciamo, colle sue belle esperienze del 1868 « *Sulla conduttività elettrica dei gas* — *Pogg. Ann.*, anno successivo, T. CXXXVI, p. 1 a 31 e 197 a 234 — spingendo la rarefazione nei tubi assai più oltre che non fosse stato fatto prima, vedeva i fenomeni semplificarsi in modo singolare: e c'importerà qui il notare come egli constatasse che i raggi uscenti dal catodo potessero eccitare una viva fosforescenza, dando così una significazione alla « luce verde » osservata dal Plücker secondo quanto fu sopra notato.

Più oltre nella rarefazione andava il Crookes: il Plücker era arrivato a qualche decimo di millimetro; il fisico inglese arrivava ad *un ventimilionesimo* di atmosfera (1). Egli, in una celebre Memoria *Sulla illuminazione delle*

(1) « Cotesto grado di rarefazione » così il Crookes in una conferenza — tenuta nel 1879 a Sheffield, come è detto a pag. 533, nota 1.ª — « sarà meglio apprezzato, se io dirò che corrisponde a circa *un centesimo di pollice* in una colonna barometrica dell'altezza di *tre miglia* ». A produrre coteste estreme rarefazioni il Crookes era stato spinto dai suoi lavori su le azioni meccaniche delle radiazioni che costituiscono pagine tra le più belle ed originali della scienza, e che lo occuparono intensamente per parecchi anni. Cominciati con la Memoria « *On Attraction and Repulsion resulting from Radiation* » — *Phil. Trans.*, T. CLXIV per il 1874, p 501 a 527 — continuavano colla ponderosa monografia « *On Repuls. res. f. Rad.* » le cui varie parti si trovano tutte nelle *Phil. Trans.* di diversi anni — T. CLXV, a. 1875, p. 519 a 547; T. CLXVI, a. 1876, p. 326 a 355 e 355 a 376; T. CLXIX, a. 1878, p. 243 a 318; e T. CLXX, a. 1879, p. 87 a 134 —. Si è al § 143 a pag. 338 del T. CLXVI che il Crookes descrive i suoi celebri *radiometri*.

linee di pressione molecolare e su la traettoria delle molecole — *Phil. Trans.*, T. CLXX, p. 135 a 164; ve n'è un estratto nei *Proc. of. the R. S.*, a. 1878-79, T. XXVIII, p. 103 a 111 — a cui facevano seguito le non meno celebri' *Contribuzioni alla fisica molecolare dei gas estremamente rarefatti* — *Phil. Trans.* a. 1879, parte II, pag. 641 a 662 — esponeva una moltitudine di fatti completamente nuovi, ed arrivava — chiudendo la prima delle monografie accennate — a formulare una teoria di un quarto stato della materia — *stato ultragassoso* o *materia radiante* — (1). E mentre i lavori dell'Hittorf non avevano richiamato l'attenzione che dei fisici, quelli del Crookes penetravano, diremo col Guillaume, « la massa degli spiriti curiosi, per i quali la nozione di un quarto stato della materia raggiungeva d'un tratto una grande — troppo grande — precisione ».

Ubi Crux, Ibi Lux.

William Crookes.

Crookes.
Da fotogr. poss. dall'a.

Ma la questione doveva necessariamente interessare al più alto grado i fisici, e ne vennero discussioni e polemiche, e, con esse e per esse, un nuovo ordine di studi, dell'interesse dei quali — non potendo di più — procureremo di dare un'idea ricordando che vi partecipavano uomini quali G. Wiedemann, l'Hertz, J. J. Thomson, il Goldstein ed un grande allievo dell'Hertz, il Lenard.

Non possiamo nemmeno lontanamente entrare in una esposizione, sia pure concisa, di cotesti studi (2), e solo ricorderemo alcuni risultati e fatti che sono a dirsi cospicui tra i cospicui.

(1) La locuzione di *materia radiante* è del Faraday, e rimonta al 1816, quando, al principio della carriera — aveva 24 anni — egli fece una serie di lezioni su le proprietà generali della materia. Una di esse porta il titolo *La materia radiante*, locuzione ch'egli usava per la prima volta nel periodo seguente: « Se noi concepiamo una modificazione tanto differente dalla vaporizzazione quanto questa lo è dalla semplice fluidità, se allora noi teniamo conto della grandezza dell'alterazione e siamo capaci di formarci un concetto di un'alterazione siffatta, noi non andremo a finire molto lungi, probabilmente, dalla materia radiante ». V. la Conferenza tenuta dal Crookes a Sheffield il 22 agosto 1879 davanti alla *B. A*, ed a cui si accenna nella nota a pag. 532 Quanto al modo con cui il Crookes enunciava la esistenza di cotesto quarto stato, non crediamo di poter fare di meglio che riportare le sue stesse parole. Eccole senz'altro tradotte dalla Memoria originale: « La idea moderna dello stato gassoso della materia si fonda su l'ipotesi che un determinato spazio, della capacità, per esempio, di un centimetro cubo, contenga milioni di milioni di molecole moventisi rapidamente in tutte le direzioni, per ciascuna delle quali avvengono milioni di urti al secondo. In cotesto caso la lunghezza media della corsa libera delle molecole è enormemente piccola al confronto delle dimensioni del recipiente, e si osservano le proprietà costituenti l'ordinario stato gassoso della materia e dipendenti dalla costanza delle collisioni. Ma a cagione della grande rarefazione, la corsa libera può divenire così lunga che il numero degli urti verificantisi in un dato tempo diventa trascurabile in confronto di quelli che vengono a mancare; e se la media corsa libera è comparabile alle dimensioni del recipiente, le proprietà che costituiscono lo stato gassoso — « *gaseity* » — sono ridotte al minimo e la materia si esalta ad uno stato ultragassoso o molecolare in cui entrano in gioco le proprietà molto decise, ma fin qui nascoste, che sono ora oggetto d'investigazione. I fenomeni in cotesti tubi vuoti rivelano alla scienza un nuovo mondo; un mondo nel quale la materia può esistere in un quarto stato, dove la teoria corpuscolare della luce può essere vera, e dove la luce non si muove sempre in linea retta, ma dove noi non potremo mai penetrare e sul quale dobbiamo rimanere paghi di osservare e sperimentare dall'esterno ».

(2) A coloro che desiderassero formarsi in modo particolareggiato un'idea di tutti cotesti studi nello stato in cui erano alla fine del secolo XIX suggeriamo il bel volumetto di J. J. Thomson *Le scariche elettriche nei gas;* volumetto del quale venne pubblicata nel 1900 coi tipi del Gauthier-Villars di Parigi una versione francese del Barbillon, con una pregevolissima prefazione dell'illustre C. Ed. Guillaume.

Anzitutto questo, che nelle mani dei fisici i quali dal Geissler al Crookes erano andati progressivamente diminuendo la pressione nei tubi, la scarica elettrica era venuta presentando successioni di modificazioni così profonde (1) e siffatte singolarità di comportamento, da riuscirne additato lo studio come uno tra i più importanti e fecondi dal punto di vista della fisica molecolare e delle teorie della filosofia naturale.

Poi, che cotesta importanza e fecondità venivano ben presto messe in piena luce, non solo dalle proprietà dei *raggi catodici* (2), come con nome

(1) Per un tubo ad aria rarefatta munito d'elettrodi e sottoposto all'azione di un generatore che possa dare una differenza di potenziale bastantemente elevata, l'aspetto della scarica e delle mutazioni dipendenti dall'aumento successivo di rarefazione, sono dal Villard descritte magistralmente così: « Dall'elettrodo positivo parte una colonna luminosa rossa dirigentesi verso l'elettrodo negativo ma terminante prima di raggiungerlo allo *spazio oscuro del Faraday*: è la luce positiva. In un campo magnetico essa s'inflette in modo passeggero, a somiglianza di un conduttore flessibile ma teso, percorso dalla corrente. Ove si venga a ridurre progressivamente la pressione, cotesta colonna luminosa aumenta di volume, ma al tempo stesso s'indebolisce, e finisce per iscomparire — almeno nelle ampolle di forma semplice, senza inflessioni o strozzature —. Intorno allo elettrodo negativo la luminosità si presenta, al contrario, come una guaina violetta — gialla nell'ossigeno, rosa nell'idrogeno — avviluppante in tutto od in parte l'elettrodo. Finchè la pressione rimane vicina ad 1 cm. di mercurio, cotesta guaina non ricopre che una superficie di alcuni millimetri quadrati. Ove si aumenti la rarefazione, essa si estende fino a coprire tutta la superficie del catodo; al tempo stesso aumenta notevolmente di spessore; poi di nuovo abbandona certe regioni dell'elettrodo; se questo è costituito da un filo rettilineo disposto secondo l'asse di un tubo cilindrico, è la base di cotesto filo che diventa inattiva. Esternamente la guaina negativa si fonde insensibilmente con lo spazio oscuro di Faraday; internamente é limitata da una superficie equipotenziale tanto più lontana dal catodo, quanto più avanzata è la vuotatura. Uno spazio relativamente oscuro — *spazio oscuro di Hittorf* — riempie l'interno di cotesta superficie equipotenziale. Finalmente, al contatto immediato dell'elettrodo, esiste un ultimo strato di luce rosea, visibile unicamente quando la pressione discende sotto il decimo di millimetro. Cotesta luminosità non esiste che nelle regioni avviluppate dalla guaina negativa. Questa, lo spazio oscuro di Hittorf, e lo strato luminescente aderente al catodo sono la sede dell'emissione catodica, scoperta dall'Hittorf nel 1868 ». E dopo avere parlato della resistenza elettrica dei tubi da scarica, notando come un mezzo gassoso non sia paragonabile affatto nè ad un conduttore metallico, nè ad un elettrolito, e mettendo in rilievo due particolarità della scarica — che una forza elettromotrice minima basta per determinarne il passaggio tra due elettrodi se contemporaneamente una scarica ausiliaria é prodotta tra due altri elettrodi nel medesimo tubo; e che un catodo incandescente non oppone al passaggio della corrente se non una resistenza almeno cento volte più piccola di un catodo freddo — il Villard, venendo al *fascio catodico*, così prosegue: « In un'ampolla ovoidica o sferica munita d'un catodo a forma di specchio concavo — con dorso protetto da coppa in vetro — e di più elettrodi variamente situati e destinati a funzionare a vicenda da anodo, quando la pressione sia giunta ad essere inferiore a 0,1 mm., la luce negativa è voluminosa e riempie l'ampolla, lo spazio oscuro si estende per qualche millimetro sul davanti del catodo, e si distingue già una concentrazione di luce secondo un cono avente per base l'elettrodo e per vertice il centro di curvatura di esso. Man mano che la pressione diminuisce, cotesto cono si stacca più nettamente su la luminosità di meno in meno intensa che l'avviluppa, e determina la fluorescenza del vetro. Cotesto cono non è altro che la traccia del fascio dei raggi catodici nel gas residuo; visibile appena nello spazio oscuro, ove presenta una tinta rosea, esso assume tosto uno splendore notevole all'oltrepassare il limite di cotesto spazio; il suo colore è allora violetto nell'aria, giallo pallido nell'ossigeno, verde nell'idrogeno misto a vapori di mercurio. Col far decrescere progressivamente la pressione, il vertice del fascio si allontana sempre più dal catodo; contemporaneamente la base si restringe, e finalmente il cono primitivo si trasforma in un pennello cilindrico, scarsamente diffuso partente dal centro — dal polo per essere più esatti — del catodo. Queste apparenze furono già rilevate dal Crookes — *Phil. Trans.* T. CLXX, p. 135, a. 1879 —. Se il catodo è concavo, il fascio è cavo — A.C. Swinton, *Proc. of the R. Soc.* T. LXI, n.° 370, p. 79 —; sarebbe più esatto il dire che presenta una condensazione periferica: se piano, l'effetto è meno marcato; se convesso, vi è al contrario condensazione centrale. La semplice osservazione del cono catodico, basta a convincere che: 1.° i raggi catodici si propagano in linea retta; 2.° che essi s'incrociano senza influenzarsi. Prendendo successivamente come anodo ciascuno degli elettrodi disposti a ciò nell'ampolla, la forma e la direzione del fascio catodico non ne sono affatto modificati. La fluorescenza eccitata dai raggi sul vetro, insensibile al principio dell'esperienza, aumenta d'intensità man mano che il grado del vuoto si va elevando: ma contemporaneamente la differenza di potenziale agli elettrodi, e quindi l'energia dei raggi, aumenta fino a raggiungere, ed anche ad oltrepassare, 40.000 o 50.000 *volts* ». VILLARD, *Les rayons cathodiques*, in *Rapports prés. au Congr. Intern. de Phisique réuni à Paris en 1900*, T. III, Parigi Gauthier-Villars, 1900.

(2) Citiamo sommariamente — oltre a quella, che potremmo dire fondamentale, di eccitare la fosforescenza nelle sostanze che ne sono colpite — alcune tra le più curiose ed importanti, non senza avvertire che quelle scoperte dal Crookes sono esposte segnatamente in due comunicazioni alla *Royal Soc.* di Londra fatte nelle sedute del 5 dic. 1878 e 3 aprile 1879 — V. *Proc.* p. 103 a 111 e 477 a 482, ed in esteso le *Phil. Trans.* T. CLXX p. 135 a 164 e 641 a 662 — e nella già citata conferenza *Su la materia radiante* tenuta il 22 agosto 1879 alla Riunione di Sheffield della Associazione Britannica — *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1880, T. XIX, p. 195 a 231 —. Il fisico inglese, ponendo sul cammino dei raggi catodici degli schermi costituiti da laminette a contorni svariati — è rimasta classica la *croce di Malta* in aluminio — ne mostrava l'ombra proiettata in oscuro, nettamente, entro la macchia fosforescente del tubo; ne deduceva il propagarsi di cotesti raggi in linea retta: di esse diceva che « non sono ombre ottiche, ma ombre molecolari ». Di coteste ombre si valeva

dato dal Goldstein furono chiamate le emanazioni del polo negativo o *catodo*, ma soprattutto dalle scoperte dello stesso Goldstein, del Lenard, del Röntgen e da quelle che ne derivarono.

Eugenio Goldstein fino dal 1874 — *Monatsberichte* dell'Ac. d. Sc. di Berlino, agosto — aveva cominciato ad occuparsi delle scariche nei gas rarefatti, allo scopo di controllare e discutere osservazioni spettroscopiche del Wüllner, ed aveva proseguito con lavori di importanza così grande da essere ritenuti meritevoli di aiuti speciali da parte dell'Accademia di Berlino. Nel corso di cotesti lavori — nei cui risultati è una parte notevole del patrimonio delle cognizioni fondamentali sui raggi catodici — egli, valendosi di un tubo preparato per quelle ricerche e munito all'interno di un cilindretto in tela metallica (1) faceva la scoperta di una nuova specie di raggi. Avendo « riunito con un filo il polo negativo di un rocchetto alla tela metallica » — narra egli stesso nella Memoria *Su una forma non ancora studiata di raggi catodici*, in *Sitzungsberichte* dell'Acc. di Berlino, sed. del 29 luglio 1886, e pubblicata dagli *Annali* del Wiedemann solo nel 1898, T. LXIV, p. 38 a 48 — « io fui molto stupito quando vidi una brillante luce giallo-dorata avviluppante il catodo di tela metallica e stendentesi fino alla parete lontana 5 cm. ».

Il Goldstein aveva scoperto, come si disse, una nuova specie di raggi; ed è superfluo l'aggiungere come egli trovasse anzitutto « necessario l'indagare in quali condizioni appare quella luce », ch' egli poi trovava prodursi « senza alcuna miscela apprezzabile di luce catodica azzurra, quando il catodo divide l'interno del recipiente in due parti, di cui una contiene l' anodo, e non comunicanti tra loro se non per aperture strette praticate nella sostanza

il Villard in una serie molto importante di ricerche, comunicate alla *Soc. Française de Phys.* il 21 gennaio, 4 marzo e 20 maggio 1898 — e riportate nel *Journal de Phys.*, a. 1899, p. 5 a 16 e 148 a 161 — per constatare con la maggiore evidenza l'azione riduttrice dei medesimi raggi: proiettando l'ombra della croce d'alluminio su di una lamina di rame ossidato, dopo pochi istanti essa si staccava in nero sul fondo rosso formatosi dove l'ossido di rame, colpito dai raggi catodici, ne era stato ricondotto allo stato naturale; esempio cospicuo di azioni chimiche, alle quali cotesti raggi [sono atti, come, con effetti dl natura svariata, fu constatato dal Goldstein, da E. Wiedemann e G. C. Schimdt, da Elster e Geitel, dal Lenard, e dal medesimo Villard. Se i raggi stessi colpiscono solidi facilmente mobili, « l'urto » dice il Crookes « si rivela con una forte azione meccanica », e lo dimostrava — oltre che col moto delle palette di radiometri speciali — con un apparecchio costruitogli — come il tubo con la croce di alluminio, ed altri ingegnosissimi — dal Gimingham —: secondo l'asse di uno dei suoi tubi ad aria estremamente rarefatta, di forma cilindrica e disposto orizzontalmente, una ruota a palette di mica era mobile su due guide correnti lungo la parete; inviando i raggi catodici su le palette superiori, la ruota si avanzava, ed invertendo il senso dei raggi s'invertiva il cammino. Se il corpo non è mobile, sotto l'azione del fascio catodico si riscalda: il Crookes lo provava provocando il rammollimento del vetro fino al punto che esso, non solo per l'azione della pressione atmosferica si piegava all'indentro, ma sotto cotesto sforzo cedeva, forandosi e permettendo all'aria di rientrare; lo provava pure col celebre esperimento della fusione di un pezzo di platino-iridio esposto all' azione di un fascio catodico concentrato. Cotesto riscaldamento rende i corpi meno atti a sviluppare la fluorescenza: quindi, se nel tubo a croce di alluminio si fa, con la disposizione del Gimingham, cadere la croce, il disegno di essa su la parete del tubo non iscompare; si disegna invece più brillante che il rimanente della parete illuminata. I raggi catodici sono deviati dai magneti. Fenomeni osservati dal Goldstein e dal Crookes, dilucidati dal Perrin e dal Maiorana — *Sulla deviaz. elettrostatica dei r. catod.*, in *Rend. d. R. Acc. d. Lincei*, a. 1897, 1° sem., pag. 183 a 187 — dimostrano che cotesti raggi risentono azioni deviatrici d'indole elettrostatica; anzi il Maiorana con belle esperienze non solo toglieva ogni dubbio « su l'azione repellente esercitata da un catodo » su di essi, ma — ciò che niuno aveva ancora pensato — provava che i raggi stessi « possono nelle ordinarie condizioni dei tubi di scarica, subire sensibili deviazioni anche per l'azione di un anodo ». Il Perrin, poi — 1897, *Ann. de Ch et de Phys.*, T. XI, p. 503 — provava senz'altro che sono elettrizzati essi stessi. — Di altri fatti cospicui relativi ai raggi catodici si dirà più avanti nel testo.

(1) « Nei *Rendiconti Mensili dell' Acacdemia di Berlino* per ll 1880 (pag. 88) ho descritto un' ampolla da scariche nella quale è incassato (per lo studio della luce negativa secondaria) un tubo munito di piccoli fori. In una di coteste ampolle il tubo era un cilindro formato da tela metallica a maglie fitte, e si trovava fissato ad uno degli estremi in un tubo di vetro aperto ai due capi r, ed all'altro in una testa di tubo r' chiuso alla lampada. Le estremità prospicienti dei due tubi r, r' distano tra loro di alcuni centimetri, lasciando, così, libere le maglie della tela metallica nell'intervallo corrispondente ». GOLDSTEIN. *Ueb. eine noch nicht untersuchte Strahlungsform an der Katode inducirte Entladungen*, citata sopra nel testo.

stessa del catodo ». Ai nuovi raggi, distinti affatto dai catodici — basterebbe a stabilirlo il non essere essi, a differenza dei catodici, deviati in modo apprezzabile da un campo elettrico o da un campo magnetico — ai nuovi raggi, diciamo — « rosei nell'idrogeno, rosa-ranciati nell'ossigeno, grigio-verdastri nel gas carbonico » — il Goldstein « attendendo che si trovi per essi un nome più opportuno, poichè non possiamo designarli col loro colore » dava quello di *kanalstrahlen*, o *raggi-canale*.

Così la scienza aveva fatto una conquista di più, ed all'ingegno umano si presentavano insieme un altro sussidio ed un'altra incognita.

Di una nuova specie di raggi, essa pure sussidio ad un tempo ed incognita — i raggi catodici nell'aria esterna e non più nel tubo a gas rarefatto — arricchiva la scienza Filippo Lenard. « Differenti dalla luce, in quanto concerne la proprietà di attraversare dei solidi » aveva egli osservato (1) « i raggi catodici finiscono, nei nostri tubi rarefatti, dove incontrano la parete di vetro ». E si era chiesto: « Che avverrebbe se la parete fosse resa trasparente per i raggi catodici? ».

La risposta alla domanda non si presentava come impossibile, dacchè l'Hertz (2) aveva mostrato la grande trasparenza — per i raggi catodici — delle ordinarie foglie metalliche sottili; ed il grande assistente dell' insigne professore di Karlsruhe riusciva infatti a trovare una foglia d'alluminio spessa solo otto volte la foglia ordinaria, eppure abbastanza robusta per resistere alla pressione dell'atmosfera su una piccola parte della sua superficie. Gli era diventato possibile, formando con essa — nella parete di un tubo — la chiusura di una finestrella, vuotare il tubo, e lasciare che raggi catodici, generati nell' interno di esso, attraverso alla chiusura — trasparente per essi — avessero nell'aria esterna libero il cammino. Per verità non era possibile prevedere se i raggi lo avrebbero seguito, ed era già questo un punto interessante a stabilirsi. E siccome l'esperienza provava che, una volta prodotti, « i raggi catodici si propagano anche nell'aria e per dei decimetri di lunghezza » così il Lenard aveva trovato il mezzo di trasportare fuori del tubo, dal vuoto nell'aria libera, il campo di osservazione. Oltre a ciò, venendosi a rendere reciprocamente indipendenti la generazione e l'osservazione, diventava possibile il modificare le condizioni di questa senza essere costretti ad alterare

(1) « *Ueb. Kathodenstrahlen in Gasen von atm. Druek u. in äussersten Vacuum* » in *Wied. Ann.*, a. 1893. T. LI, p. 225 a 267. La importante Memoria porta la data — da Bonn — del Dicembre 1893, ma un sunto ne era stato presentato molto prima dall'Helmholtz all'Accademia di Berlino.

(2) L'Hertz — « *Ueb. den Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten* » in *Wied. Ann.*, a. 1892, T. XLV, p. 28 a 32 — era stato colpito dal fatto che i corpi offrenti la maggiore trasparenza ai raggi luminosi di qualsiasi specie, oppongono invece — anche se ridotti in lamine della maggiore sottigliezza possibile — una resistenza assoluta al passaggio dei raggi catodici. Il fatto gli era sembrato tanto più strano perchè i metalli, così poco diafani per la luce, possiedono una trasparenza, per debole che sia, per i raggi catodici. Studiando il fenomeno, poteva convincersi che i metalli sono molto più diafani per i raggi catodici che per quelli luminosi. Così, ad esempio, constatava che una foglia d'oro posta sul cammino dei raggi catodici non impediva affatto che essi eccitassero su una lastrina di vetro, la fluorescenza più viva: anzi la foglia d'oro osservata dal lato posteriore, non appariva più che come un debole velo. L'Hertz constatava poi la medesima proprietà con foglie d'argento, con varie specie di oro musivo e di argento musivo, con straterelli di platino, di argento, di rame, deposti dalla scarica nel vuoto, e in modo più cospicuo con foglie di alluminio. Aggiungiamo che con esperienze ingegnissime e decisive egli aveva potuto escludere che i raggi catodici passassero attraverso a pori delle lamine. Si trattava dunque di una vera e propria trasparenza in corpi opachi ai raggi luminosi.

la prima. Indipendentemente da lati tutt'altro che secondari (1) gli accennati avrebbero bastato già a dare a quella scoperta, nella storia della scienza, una grande importanza. Ma essi erano destinati a passare quasi in seconda linea di fronte al fatto constatato dal Lenard stesso, che essi potevano destare la fosforescenza anche in sostanze poste all'esterno del tubo. Il Lenard era stato ad un punto dal fare, senza che ne avesse il sospetto, una delle scoperte più notevoli non solo dello scorcio del secolo XIX, ma di tutti i tempi.

Due anni dopo, infatti, e cioè alla fine del 1895 (2), il mondo riceveva con grande stupore la notizia che Guglielmo C. Röntgen, il cui nome già ricordammo per lavori in altri campi della fisica — valendosi di un tubo di Crookes — aveva scoperto il mezzo per distinguere nettamente il contorno di oggetti attraverso a corpi opachi, come il legno, la carta, ed anche taluni metalli, nonchè per produrre delle immagini fisse mediante gli ordinari processi della fotografia.

Röntgen.
Da fotografia.

Poche scoperte della scienza commossero il mondo, quanto questa del Röntgen, e la stessa stampa politica del tempo sta ad attestare la straordinaria ed universale eccitazione di curiosità suscitata da essa. Ricordo, cotesto, col quale è bello il mettere a riscontro la modestia e la serenità a cui ne era improntato l'annuncio.

« La scarica di un grosso rocchetto d' induzione » — così comincia l'immortale Memoria — « attraversa un tubo a vuoto di Hittorf, od un tubo di Lenard o di Crookes, il cui vuoto è spinto ad un grado molto elevato. Il tubo è circondato da uno schermo di carta nera che vi si adatta perfettamente; si può allora constatare, in una sala in cui l'oscurità sia completa, che una carta ricoperta su di una faccia di platino-cianuro di bario (3) presenta una fluorescenza brillante quando la si porta in vicinanza al tubo, qualunque sia la faccia della carta rivolta ad esso. La fluorescenza è visibile

(1) « Un interesse tutto speciale si collega alla possibilità di far penetrare i raggi in un vuoto perfetto, nel quale, come è noto, essi non possono venire prodotti; vale a dire alla possibilità di effettuare la esperienza fondamentale analoga a quella che ha permesso di determinare se il suono e la luce sono dei fenomeni aventi per sopporto la materia o l'etere. Come si vedrà più oltre, il vuoto non costituisce un ostacolo alla propagazione dei raggi. Essi vi percorrono con una grande intensità distanze di alcuni metri: per tal modo essi vengono a caratterizzarsi come fenomeno producentesi nell'etere. Tenuto conto del poco che noi sappiamo su l'etere, essi non possono, per ciò stesso, che guadagnare in interesse ». Lenard, *Mem. cit.*

(2) Vegg. la nota 9.ª a pag. 361.

(3) « Il Lenard aveva certamente sotto mano i raggi segnalati poi dal Röntgen, e gli sfuggirono forse perchè lo schermo al chetone sul quale faceva le osservazioni, se è fluorescente sotto l'azione dei raggi catodici, non è tale sotto quella dei raggi *X*, ma più probabilmente perchè le sue finestre di foglia d'alluminio erano troppo sottili per emettere raggi X di sufficiente intensità, e perciò sotto l'azione della calamita gli apparivano più o meno deviati tutti i raggi che per quelle finestre uscivano dal tubo ». Roiti, « *Se i raggi X esistano già nel fascio catodico* che li produce. » in *Rendic. d. R. Acc. d. Lincei*, a. 1897, II. sem., § 9, p. 125.

ancora a 2 metri di distanza. È facile mostrare che la causa della fluorescenza risiede nel tubo a vuoto.

Si vede pertanto che esiste un agente capace di penetrare un cartone nero, assolutamente opaco per i raggi ultra-violetti, per la luce dell'arco o per quella del sole ».

Nessuna scoperta, grande o piccola che fosse, venne mai annunciata con parole più semplici. Aggiungiamo che poche lo furono con corredo di fatti tanto copioso quanto quello accumulato dal fisico tedesco (1).

Su la natura dei nuovi raggi molto si disputò. Avendo essi origine nella macchia verdastra che si forma sul vetro del tubo di fronte al catodo, si credettero dapprima *raggi catodici*. Ma ben presto il Röntgen medesimo, ed altri fisici — tra cui, per dire solo di alcuni dei nostri, il Blaserna, il Battelli, il Garbasso, il Roiti, il Murani — constatarono che si trattava di raggi — chiamati *X* dall'inventore; detti *raggi Röntgen*, per consenso universale, dal mondo scientifico e dal profano — suscitati in una misteriosa trasformazione dei catodici quando questi urtano contro un ostacolo opportuno.

La scoperta del Röntgen riceveva subito applicazione, segnatamente alle ricerche della medicina, della chirurgia, della fisiologia, che vi trovavano un mezzo veramente meraviglioso per scoprire nell'interno dell'organismo le lesioni, sorprendervi perfino il cuore nei suoi movimenti.

Non è esagerare il dire che una legione di fisici si pose febbrilmente attorno a cotesti raggi, e, mentre si andavano studiando e perfezionando i mezzi per produrli e si creava una vera branca d'industria, essi offrivano materia d'indagine che apriva nuovi orizzonti alla filosofia naturale. Occorrerebbe un volume per esporre i risultati che in pochi anni si ottenevano dalla esplorazione di cotesti orizzonti. Valgano a darne un'idea le scoperte del Sagnac, che riconosceva come i raggi del Röntgen, cadendo su vari corpi, vi suscitino altri raggi — *S*, o *secondari* — capaci essi stessi di suscitarne altri — raggi *terziari* —; la scoperta del Becquerel — Vegg. p. 362, testo e nota 1.ª — che sperimentando coi sali di uranio otteneva, col solfato doppio di uranile e di potassio, delle impressioni fotografiche attraverso alla carta nera, trovava

(1) Valga d'esempio il seguente brano — della stessa Memoria — e che non è se non *una parte* di quanto il Röntgen dice relativamente al comportarsi dei diversi corpi rispetto alla trasparenza ai raggi da lui scoperti. « Tutti i corpi presentano la stessa proprietà, ma in grado molto differente. Per esempio la carta è trasparentissima; lo schermo fluorescente s'illumina quando lo si pone dietro un volume di mille pagine; l'inchiostro da stampa non offre resistenza sensibile. Similmente, la fluorescenza si manifesta dietro due mazzi di carte; una carta unica non diminuisce in modo sensibile lo splendore della luce. Similmente ancora, una sola foglia di stagnola proietta a stento un'ombra su lo schermo: bisogna sovrapporne parecchie per produrre un effetto degno di nota. Degli spessi blocchi di legno sono ancora trasparenti. Delle tavole di pino di due o tre centimetri di spessore assorbono pochissimo. Un pezzo di lastra di alluminio dello spessore di 15 millimetri lascia ancora passare i raggi *X* (è così che chiamerò questi raggi per abbreviare), ma diminuisce di molto la fluorescenza. Delle lastre di vetro dello stesso spessore si comportano alla stessa maniera; tuttavia il cristallo è molto più opaco dei vetri esenti da piombo. L'ebanite è trasparente per uno spessore di parecchi centimetri. Ponendo la mano davanti allo schermo fluorescente, le ossa proiettano un'ombra carica, ed i tessuti che le circondano non si disegnano che molto leggermente. L'acqua e parecchi liquidi sono assai trasparenti. L'idrogeno non è notevolmente più permeabile che l'aria. Delle lastre di rame, d'argento, di piombo, d'oro e di platino lasciano pure passare i raggi, ma solo quando il metallo è in lamina sottile. Uno spessore di platino di 2 millimetri lascia ancora passare qualche raggio; l'argento ed il rame sono più trasparenti. Il piombo sotto lo spessore di $1^{mm},05$ è praticamente opaco. Un'asta di legno a sezione quadrata del lato di 2 centimetri, dipinta con biacca di piombo su una delle facce, non proietta ombra se non leggera ove la si giri in modo che i raggi *X* siano paralleli alla faccia dipinta, ma l'ombra è nera quando i raggi devono attraversare cotesta faccia. I sali metallici, solidi od in soluzione, generalmente si comportano come i metalli medesimi ».

che, ponendo l'uranio ed i suoi composti nella oscurità completa, essi continuano per anni ad impressionare le lastre fotografiche attraverso la stessa carta nera, che i raggi — a cui sono dovute coteste azioni — *raggi uranici*, come eglili chiamò; *raggi Becquerel*, come li denominarono altri — possono attraversare degli schermi metallici sottili e che essi scaricano i corpi elettrizzati; la scoperta fatta indipendentemente e contemporaneamente da Schmidt e dalla signora Sklodowska Curie che delle stesse proprietà godono il torio ed i suoi composti; e finalmente le scoperte del *polonio* e dell'*attinio*, soprattutto quella del *radio*, — Vegg. pag. 362, testo e nota 2.ª — che suscitava interesse universale, anche nel mondo profano alla scienza, e poneva a questa una quantità di problemi nuovi, ben lontani ancora oggigiorno da una soluzione.

Non insisteremmo più oltre su cotesto argomento delle scariche nei gas rarefatti, ove non si dovesse pure da un lato accennare alla parte avuta dalla scienza italiana nel grande movimento suscitato dalla scoperta del Röntgen, dall'altro riassumere i caratteri delle varie radiazioni costituenti parte così notevole delle novissime conquiste della fisica.

Sul primo punto. Il Righi, che già il 26 gennaio 1896 aveva intrattenuto l'Accademia di Bologna sui raggi del Röntgen e le aveva presentato fotografie ottenute con essi, il 9 febbraio — *Rendic. d. R. Ac. d. Sc. di Bologna*, p. 45 a 51 — comunicava la scoperta importante che quei raggi « hanno in comune coi raggi ultravioletti la proprietà di determinare la dispersione delle cariche negative e di dare origine a cariche positive nei corpi non elettrizzati », e che « i raggi *X*, a differenza dei raggi ultravioletti, provocano la dispersione anche dei corpi elettrizzati positivamente » (1). Così, grazie al grande fisico, anche all'Italia spettava l'onore di quella investigazione, la cui importanza deriva dal contributo che se ne attendeva per far luce sulla natura dei nuovi raggi, e che appunto perciò contemporaneamente veniva fatta da molti altri fisici — tra cui Benoist e Hurmuzescu a Parigi, Borgmann e Gerchun a Pietroburgo, J. J. Thomson a Cambridge, Lodge a Liverpool —. Ma poi il Righi — *Rendic. della R. Acc. dei Lincei*, sed. del 1 marzo 1896, p. 143 a 149 — applicava tosto quella dispersione a misurare la intensità — cui la trovava proporzionale — appunto dei raggi del Röntgen; constatava che essa avviene pei dielettrici — a cui finisce per comunicarsi una carica positiva, qualunque sia lo stato iniziale — come pei conduttori; l'applicava pure — stessa sed., *Rendic.* p. 149 a 152 — alla produzione di *ombre elettriche* « non così perfette e dettagliate come quelle che dà la fotografia, ma aventi il pregio di richiedere un tempo d'azione generalmente minore »; studiava — *ibid.* p. 148 — i fenomeni osservati da Gossart e Chevallier sull'azione dei raggi sul radiometro; stabiliva — *Rendic.* dell'Accademia di Bologna, seduta 8 marzo 1896, e *C. R.*. T. CXXII, p. 601 e 602 — che « la dispersione diviene di più in più debole quando la pressione diminuisce progressivamente », e che « in diversi gas, tutti alla pressione atmosferica, la dispersione varia nello stesso senso della densità del gas », analogamente a quanto avviene coi raggi ultravioletti.

(1) Il Righi indirizzava su lo stesso argomento una nota all'Accademia di Parigi — *C. R.*, T. CXXII, a. 1896, p. 376 a 378 — perchè nella tornata del 3 febbraio Benoist e Hurmuzescu avevano comunicato risultati di ricerche nello stesso campo, offrenti qualche differenza rispetto a quelli ottenuti da lui.

Il Villari nello stesso 1896, in una serie di comunicazioni alla R. Accademia di Napoli, le cui date vogliamo riportare perchè danno l'idea del come quel chiaro fisico si fosse dato a coteste ricerche — sed. del 15 febbraio, 7 e 14 marzo, 9 maggio, 13 giugno e 14 luglio — approfondiva egli pure specialmente l'importante questione del modo di operare dei raggi *X* nello scaricare i corpi elettrizzati, arrivando a risultati concordi con quelli del Righi, ed in modo affatto indipendente; riscontrava — *Rendic.* dell'Acc. di Bologna, 12 aprile 1896 — la riflessione dei medesimi raggi mediante lastre di piombo, zinco, ferro, rame; portava l'indagine — *Rendic. d. R. Acc. d. Lincei*, sed. 17 maggio 1896 — sullo stato superficiale dei tubi del Crookes e del Geissler, che esplorava con l'elegante metodo della proiezione di polveri di solfo e minio; continuava negli anni successivi le ricerche, specialmente su l'azione scaricatrice, studiandola sotto molteplici aspetti ed in circostanze svariate — sotto l'azione, ad esempio, dell'elettricità e della ozonazione; al variare della pressione; con la presenza di tubi opachi — completando le esperienze che fino dal 1888 avevano portato il Naccari a scoprire che l'aria attraversata da scintille elettriche acquista la proprietà appunto di scaricare i corpi elettrizzati, estendendola all'ossigeno, all'idrogeno, all'anidride carbonica, al gas d'illuminazione (1), integrandola con la nozione dell'agire la ozonazione in modo opposto alle scintille.

Il Blaserna ed il Roiti, già nella seduta del 2 febbraio dell'Accademia dei Lincei, oltre al presentare molte fotografie ottenute col nuovo sistema, comunicavano in brevi Memorie copiose ed interessanti osservazioni sulle circostanze influenti nella produzione. Il Roiti, poi, proseguiva con esperienze numerose, svariate, importanti, che esponeva in una serie di note comunicate alla stessa Accademia — V. *Rendic.*, a. 1896, p, 156, 185, 243 del primo sem., 153 del sec,; a. 1897, p. 29 del primo sem., 123 del secondo; *Memorie*, Serie V, T. II, p. 131 a 142. — Stabiliva egli che i raggi del Röntgen partono, propagandosi in tutte le direzioni, dai punti ove i catodici colpiscono i vari solidi; studiava il comportarsi dei tubi durante la vuotatura; con reticoli di rame otteneva ombre direttamente ingrandite — « da 2 a 7, con contorni abbastanza definiti » —; richiamava l'attenzione su la complicazione del fenomeno e su la necessità di ben precisare le circostanze delle esperienze per renderne comparabili i risultati — talvolta apparentemente contradditorî —; trovava che al vetro ed all'alluminio erano da aggiungersi la mica, il platino, la porcellana come sostanze emettenti raggi del Röntgen se colpite dai catodici; riusciva a produrre i raggi con un palloncino privo di elettrodi, coprendo due calotte con acqua in cui tuffava i reofori del rocchetto di Ruhmkorff: indagava la durata dell'emissione, di cui stabiliva che non oltrepassa $^1/_{600}$ di secondo; nei risultati di esperienze dello Chappuis sottilmente additava altre ragioni di una grande complessità del fenomeno; istituiva esperienze importanti, in cui metteva fuori di dubbio la esistenza per i raggi del Röntgen di fenomeni corrispondenti ad una colorazione — o, com'egli la chiamava

(1) Le memorie del Villari — troppo nnmerose per potere darne qui anche solo un elenco — sono sparse in molte pnbblicazioni periodiche, di cui, oltre a quelle che nominiamo sopra, ricorderemo i *Comptes Rendus* dell'Accademia di Parigi, il *Philosophical Magazine*, ed il Tomo III dei *Rapports* del Congresso Internazionale di Fisica tenuto a Parigi nel 1900.

felicemente, *criptocrosi* « sull'esempio del Melloni il quale chiamò termocrosi la diversa qualità dei raggi calorifici oscuri —; ideava per cotesti raggi un *attinometro* — descritto anche nell'*Elettricista*, a. 1896, pag. 197 — analogo nella disposizione ad uno di quei fotometri del Ritchie che sono descritti nei trattati di fisica; esaminava le analogie d' inflessioni tra i raggi *X* ed i luminosi; combatteva con acute osservazioni ed esperienze l' opinione che i raggi *X* si possano derivare dai catodici per semplice sottrazione; e sottoponendo ad esame molti metalli — magnesio, alluminio, ferro, rame, zinco, argento, cadmio, stagno, platino e piombo — formulava la curiosa legge che « i metalli di maggior peso atomico emettono raggi *X* più intensi ».

Il Battelli ed il Garbasso — *N. Cim.* del gennaio 1896, T. III, p. 40 a 61 — istituivano subito esperienze copiose, svariatissime nel punto di vista che ne costituiva l'oggetto — modificazioni, con l'uso, delle attitudini del tubo; fotografie di pallini introdotti ad arte in una cavia per rendersi conto dell'applicabilità del metodo alla ricerca dei proiettili; trasparenza delle diverse sostanze, ed influenza, su di essa, del loro spessore, ecc. —; constatavano la riflessione irregolare, l'assenza di rifrazione; indicavano metodi per ridurre il tempo di posa nelle radiografie, precorrendo, sostanzialmente, scoperte notevoli di scienziati stranieri — l'uso, indicato poi da Winkelmann e Straubel, di lastre di fluorite poste dietro quella sensibile, e la introduzione di opportune sostanze fluorescenti nel tubo di Crookes, indicata più tardi dal Piltschikof —; affrontavano — *N. C.*, a. 1896, T. III, p. 289 a 299, 321 a 324, e T. IV. p. 129 a 138 — la questione della natura dei raggi *X*, ed in relazione ad essa studiavano la dispersione delle cariche elettrostatiche operata dai raggi ultravioletti e l'azione dei raggi catodici sopra i conduttori isolati. Il Battelli poi — *N. C.*, a. 1896, T. III, p. 193 a 202 ed a. 1897, T. V, p. 386 a 399; *Phil. Mag.*, a. 1898, T. XLV, p. 163 — a chiarire i rapporti tra i raggi del Lenard e gli *X* studiava entro il tubo medesimo le azioni fotografiche; ed a proposito di idee, emesse forse senza grande profondità di esame, da Silv. Thompson nel *The Eletrician*, indagava i rapporti fra gli stessi raggi del Röntgen ed i catodici; mentre il Garbasso —*Rendic. della R. Acc. dei Lincei*, II sem. del 1896, p. 250 a 253 — sottoponeva all'analisi un fatto osservato dal Jaumann e collegantesi con una polemica avuta da questi col Poincaré — che i raggi catodici debolissimi non vanno più in linea retta in un campo elettrostatico, contrariamente a quanto aveva sostenuto l'Hertz — portando così, nella questione se i raggi catodici siano materia radiante — secondo le idee della Scuola inglese — o siano dovuti a vibrazioni trasversali dell'etere, un contributo importante — la dimostrazione, cioè, che « l'ipotesi delle vibrazioni trasversali non può spiegare la deformazione dei raggi catodici in un campo elettrostatico » —.

Alfonso Sella e Quintino Majorana — *Rendic. d. R. Acc. d. Lincei*, a. 1896, I sem. p. 116 a 118, 168 e 169, 323 a 327, 389 a 392 — erano tra i primi a mettere fuori di dubbio la possibilità della riflessione dei raggi Röntgen, e ad assegnare « un primo limite inferiore » alla loro velocità di propagazione; scoprivano che la distanza della scarica elettrica esplosiva nell'aria è molto diminuita, in certe condizioni, dalla presenza dei raggi *X*, e, poichè ciò era

in contraddizione col modo di operare dalla luce ultravioletta scoperto dall'Hertz — constatato dippoi con celebri esperienze da E. Wiedemann ed Ebert nonchè da Elster e Geitel — studiavano le condizioni e variavano le esperienze' chiarendo in modo decisivo quel punto tanto importante. I loro risultati dimostrarono infatti « come l'azione dei raggi Röntgen su una scintilla esplosiva, agisca ora in un senso ora nell'altro, a seconda delle circostanze, e che anche in questo ordine di fatti esiste parallelismo tra le radiazioni Röntgen e le ultraviolette »·

Il Murani, che il 21 gennaio 1896 già aveva eseguito la radiografia di una reticella metallica, subito il 30 s' era messo in grado di tenere — in Milano, nella grande aula della *Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri* — una memoranda conferenza illustrativa corredata da brillanti esperienze ed in cui non aveva taciuto il dubbio su la genesi vera dei raggi *X*; il Murani, diciamo, leggeva il 9 aprile e 7 maggio successivi al R. Istituto Lombardo di Scienze e lettere — *Memorie*, T. XVIII, p. 1 a 19 — una dotta ed acuta comunicazione, in cui recava contributo di esperienze numerose, decisive, alla constatazione — ancora controversa, allora — della riflessione regolare, ed a quelle sia della diffusione, sia dell'assenza di rifrazione per azione di un campo elettrostatico e di un campo magnetico.

Il Vicentini, tra altro, osservava come la trasparenza del legno nel senso delle fibre sia minore che perpendicolarmente ad esse, e l'Arnò — *Atti d. R. Acc. d. Sc. di Torino*, T. XXXI, a. 1895-96, p. 620 a 623 — studiava il fenomeno in tubi di Hittorf ad idrogeno. G. Sormani, a Pavia — *Rendic. del R. Ist. Lomb. di S. e L.*, a. 1896, T. XXIX, p. 517 a 520 — considerando la proprietà dei raggi *X* di attraversare tutti i tessuti ad eccezione delle ossa, e pensando « quale meraviglia terapeutica, non sarebbe quella di annientare un focolaio di microrganismi patogeni in grembo dei tessuti stessi e con un mezzo affatto innocuo », indagava l'azione dei nuovi raggi appunto sui batteri sottoponendone ad essi varie specie — sedici diverse, tra cui quelli del colèra, del tifo, del carbonchio — arrivando però a risultati negativi e che perciò infirmavano quelle ottenute dal Münch a Monaco, da Pratt, Wrightmann e Bennett a Chicago.

Il Salvioni — Vegg. riass. in *N. Cim.* a. 1896, T. III. p. 188 a 191 — tosto il 6 e 22 febbraio comunicava all'Accademia Medico-Chirurgica di Perugia studi copiosi in cui sono geniali osservazioni su la trasparenza — debolissima — dell'occhio e delle sue parti, e suggerimento di mezzi semplici — uso di un magnete, o contatto del tubo con una punta comunicante col suolo — per ottenere ombre più nitide.

Perfino con i mezzi tanto modesti — troppo modesti! — dei Gabinetti Fisici delle nostre Scuole Secondarie si conseguirono risultati meritevoli di menzione. Così al Liceo Parini di Milano il Faè — *N. C.*, a. 1896, T. III, p. 191 — riusciva ad aumentare l'intensità dei fenomeni del Röntgen per mezzo di un magnete, ottenendo perfino l'ombra di una mano su una lastra fotografica con un semplice tubo del Gassiot eccitato con un rocchetto di piccolo modello; ed all'Istituto Tecnico di Modena il Malagoli ed il Bonacini — *Rendic. d. R. Acc. dei Lincei*, a. 1896, I. sem., p. 327 a 331 — riuscivano ad utilizzare la

riflessione come mezzo « atto ad esaltare il rendimento fotografico dei raggi X », riscontrando, ad esempio, che un riflettore di rame ne raddoppia l'effetto grafico e permetterebbe perciò di ridurre a metà il tempo di posa.

In progresso altri lavori furono eseguiti dai nostri fisici, prendendo ad esame punti speciali. Così — limitandoci a qualcuno dei più notevoli — Alessandro Volta *jr.* leggeva al Congresso di Fisica di Torino nel 1898 una importante monografia — è riportata per intero in *N. C.* a. 1898, T. VIII, p. 241 a 255 — da cui risultava dimostrato « che la trasparenza apparente, ossia quella dedotta dall'ombra portata, scema specialmente nei corpi leggeri, col riscaldamento dei medesimi; ma che questa variazione è in generale piuttosto piccola, talora nulla o incerta, e ad ogni modo sempre minore della variazione che in opposto senso si ha nella diffusione; l' Amerio — *N. C.*, a 1899, T. X, p. 366 a 372 — stabiliva l'assenza di ogni azione di raffreddamento, almeno in quantità percettibile, per parte dei raggi *X*, che invece il Pettinelli aveva creduto di riscontrare; il Guglielmo — *Rendic. della R. Acc. dei Lincei*, 16 ottobre 1898 e 8 aprile 1899 — cercava nei fatti dei raggi catodici e degli *X* il mezzo per gettare luce su le dimensioni e la densità degli atomi.

Ma è sopratutto la grande attività del periodo immediatamente successivo alla scoperta del Röntgen quello che importava di segnalare.

Quando poi il lettore pensi che la ricerca straordinariamente attiva — vorremmo dire ansiosa — caratterizza quel periodo anche presso tutte le altre nazioni civili, egli potrà immaginare il cumulo di monografie e di pubblicazioni a cui quella scoperta ha dato luogo.

I risultati di codesti studi apparvero anche, su le prime, contradditorî. Ma poi si venne man mano chiarendo che quanto appariva radiazione semplice, non lo era affatto. E, grazie insieme a questa cognizione ed al cumulo degli studî, alla fine del secolo, erano ben determinate le caratteristiche delle diverse specie di raggi.

È questo il secondo punto che ci rimaneva a toccare.

Dei catodici, oltre quanto fu detto — nota 2.ª pag. 534 — si sapeva Plücker, Hittorf, Crookes — che possono essere deviati da un campo magnetico; che — J. J. Thomson — questa deviazione può però mancare affatto per alcuni, avviene in grado diverso per gli altri, così da potersene produrre veri spettri — Birkeland — analoghi a quelli luminosi ed offrenti, sia delle righe, sia — M. R. J. Strutt — la continuità; che analoghi fatti — Deslandres — possono prodursi mediante l'azione di un campo elettrico; che — Goldstein — riproducono nelle macchie fosforescenti le accidentalità della superficie del catodo — se questo è formato da una moneta, il disegno si riproduce nella macchia fosforescente —; che l'aria è per essi un mezzo torbido, ossia che vi si diffondono come la luce nella nebbia; che — Hertz — in misura diversa e sotto spessore diverso attraversano i metalli; che — Jaumann — possono presentare tra loro fenomeni d'interferenza; infine — J. J. Thomson, Majorana, Wien, Lenard — se ne era misurata la velocità. Diremo ancora che il Villard, nel 1898, dal complesso dei fatti offerti dai tubi a raggi catodici, formulava la teoria dell'*afflusso catodico,* secondo la quale l'emissione dei raggi catodici sarebbe alimentata da « una corrente di materia proveniente dallo spazio

oscuro del tubo e respinta dalle pareti positive di esso »; teoria che, nella questione se i raggi catodici siano — opinione del Crookes — materia radiante, ovvero — Goldstein, Wiedemann, Hertz — vibrazioni trasversali dell'etere, ovvero ancora — Jaumann — vibrazioni longitudinali, tenderebbe a far pendere la bilancia dalla parte della teoria *corpuscolare* o *materialistica.*

Intorno ai raggi X si sapeva che si propagano nell'aria in linea retta; presentano diffusione semplice, tenuissima la riflessione regolare; non si rifrangono — ove si tolga qualche fatto che parrebbe accennare ad una quasi impercettibile rifrazione attraverso all'ebanite ed alluminio —; non sono deviati da campi magnetici anche i più intensi; scaricano i corpi elettrizzati. Non era ben definito se l'effetto fotografico dovesse assegnarsi ad essi, ovvero alla luce fluorescente che si desta su la lastra di vetro e nella gelatina stessa dello strato sensibile. Si sapeva invece — C. T. R. Wilson — che gli ioni prodotti sotto la loro azione divengono in certe condizioni dei nuclei di condensazione per il vapore acqueo.

Con queste si ponevano a riscontro le proprietà dei raggi ultravioletti stabilite da Sella e Majorana — analogia coi raggi X nell'influenza su la distanza esplosiva della scintilla —; dal Righi, dall'Halwachs, da Elster e Geitel, da Wiedemann e Ebert — attitudine a scaricare i corpi elettrizzati ed a caricare positivamente lo zinco ed altri metalli —; da Lenard e Wolff — disaggregazione di molti corpi, condensazione del vapore acqueo intorno alle loro particelle —. E per queste analogie e per altre considerazioni — tra cui tengono un posto cospicuo quelle portate da esperienze numerose, squisite, importantissime del Rutherford — si inclinava a considerare i raggi X come analoghi alla luce ultravioletta.

Diversi assai dai Röntgen — sebbene alcune proprietà abbiano in comune con essi — i raggi *S* suscitati da essi per riflessione metallica, scoperti — come fu detto — e studiati specialmente dal Sagnac. Impressionano essi pure le lastre sensibili, scaricano i corpi elettrizzati, determinano la fluorescenza del platino-cianuro di bario, si propagano in linea retta, e non dànno luogo a diffrazione o diffusione percettibili. I diversi corpi — isolanti o conduttori — li assorbono in quantità differente — sempre molto più debole di quel che avvenga per gli *X* e dipendenti pure dal metallo su cui questi ultimi si sono riflessi —. Mentre gli *X* possono venire arrestati in gran parte su una lamina metallica di qualche millimetro di spessore, i raggi *S* non lo sono: lo sono, invece, da una seconda lamina simile, posta dietro la prima.

Quanto ai raggi terziari *T* derivanti dagli *S* in modo analogo a quello con cui gli *S* derivano dagli *X*, sembra che essi si avvicinino ai raggi prodotti nei tubi di Crookes a vuoto non molto spinto, e che abbiano un periodo più lungo di vibrazione.

Accenniamo di sfuggita ai raggi *paracatodici* scoperti da Silvanus Thompson, ai quali è dovuta la fluorescenza del tubo di Crookes superiormente alla parte anticatodica, incapaci di generare i raggi *X* ordinari — e che ne destano invece di altra specie — insensibili ai campi magnetici ed elettrici.

Finalmente, venendo ai *raggi del Becquerel*, diremo che — Becquerel — essi, in un campo magnetico potente non uniforme, s'inflettono e si concen-

trano nei poli; ed un'azione del campo magnetico constatavano pure il Giesel e — contemporaneamente — Stefan Meyer, Egon R. v. Schwender; se provengono dal radio — Giesel — l'azione è meno energica che se generati dal polonio. Dal Becquerel sappiamo che la deviazione avviene nel vuoto come nell'aria; che i diversi sali di radio emettono raggi ugualmente deviabili, e non differenti che per la intensità; che, se propagantisi normalmente alle linee di forza, descrivono traettorie chiuse che li riconducono al punto di partenza; che i raggi di uno stesso fascio offrono differenza nella deviabilità; che quelli diversamente deviati sono diversamente assorbiti da una stessa sostanza ed hanno raggi di curvatura non uguali; che il raggiamento del radio può quindi fornire uno spettro il quale è *continuo* ed in cui ogni elemento può essere individuato mediante il raggio di curvatura della sua traettoria. Da Elster e Geitel sappiamo pure che la conducibilità elettrica comunicata dai raggi Becquerel all'aria fortemente rarefatta è diminuita dall'influenza di un campo magnetico. Nel complesso il Becquerel pensava che il raggiamento del radio — almeno per la parte deviabile — fosse identico al catodico; al quale convincimento recavano nuovi argomenti di molta importanza — decisivi secondo l'illustre fisico francese — il fatto — d.r Curie e signora Curie — che esso trasporta delle cariche elettriche negative, e l' altro — Becquerel — che esso subisce deviazioni anche in un campo elettrico.

Sarà da ultimo a notarsi come cotesto raggiamento del radio avesse fatto che da alcuno si revocasse perfino in dubbio la stessa legge della conservazione dell'energia. Prendendo in considerazione numerosi dati riscontrati dai signori Curie, il Becquerel trovava che « l'energia irraggiata da un centimetro quadrato sarebbe di qualche decimilionesimo di watt per minuto secondo... e corrisponderebbe ad uno spostamento di materia di circa un milligrammo in un miliardo di anni ». V'è dunque quanto basta per concludere col grande fisico francese che « l'energia irradiata delle sostanze radioattive può essere fornita dalla materia stessa senza che sia possibile constatare in questa una diminuzione apprezzabile di peso ».

VIII.

Telegrafia. Telefonia. Trazione elettrica. Applicazioni diverse dell'elettricità. Le azioni fisiologiche. L'elettricità atmosferica. Il magnetismo terrestre.

Chiuderemo queste pagine con un rapidissimo sguardo alle altre parti degli studi e delle applicazioni dell'elettricità, cominciando dalla telegrafia *aerea*.

Aspirazione di qualche solitario o bizzarro ingegno del secolo XVIII (1), oggetto di studi da parte di alcuni pochi — tra i quali si annoverano pure

(1) Ricordiamo tra altri: l'incognito scozzese — forse Carlo Marshall — che nel 1753 in una lettera firmata *C.M.*, datata il 1 febbraio da Renfrew e pubblicata nello stesso mese dallo Scott'S Magazine proponeva di far agire a distanza dei pendolini elettrici — corrispondenti ciascuno ad una lettera dell'alfabeto — o dei campanelli — analoghi a quelli dello scampanio elettrico e di suono differente tra loro — mediante scariche di una batteria, trasmesse attraverso fili mettenti capo ciascuno ad uno dei pendolini o dei campanelli; gli esperimenti del 1774 a Ginevra, eseguiti dal Le Sage con un sistema analogo; ed i tentativi del Lomond — 1787 —; del Reisen — 1794 —; del Salva e dell'infante d. Antonio di Spagna — 1796 —; del Cavallo — 1797 —; del Bethancourt — 1798 —. E' superfluo l'aggiungere che in tutti cotesti tentativi non si usava se non elettricità statica, non conoscendosi ancora l'uso della pila — Veggasi, per la storia della telegrafia, il diligente e pregevole Tomo III del Du Moncel, *Exposé des Applications de l'Electricité*, Parigi, Lacroix, 1874.

scienziati sommi (1) — nella prima parte del secolo XIX, la telegrafia elettrica aerea, sebbene avesse trovato nella pila il generatore di cui aveva bisogno, non si metteva su la via del progresso se non nel 1837 con Wheatstone e Cooke (2), con lo Steinheil (3) e con il Morse (4) che in quell'anno riusciva

(1) L'Aldini, ricordando le esperienze dei de Luc nel lago della loro Ginevra e di fisici inglesi nel Tamigi, trasmetteva — 1803 — segnali attraverso un braccio di mare, e poi attraverso la Senna e la Marna. Samuele Tomaso von Soemmering — 1808, a Francoforte S. M. — trasmetteva segnali valendosi di voltametri in cui si scomponeva dell'acqua; lo svolgimento dei gas relativi in una posizione anzichè in un'altra del ricevitore serviva ad indicare l'una piuttosto che l'altra lettera dell'alfabeto. La trasmissione esigevà 27 fili. Dalle esperienze del Soemmering prendeva le mosse il barone P. L. Schilling di Kannstadt, che vi aveva assistito a Monaco ov'era addetto alla legazione russa; egli — TERNANT, *Les télégraphes,* Parigi, Hachette, 1881 — il 23 agosto 1810 faceva agire a distanza una soneria elettrica — non però ad elettrocalamita, s'intende; il 7 settembre insieme al Soemmering esperimentava con filo coperto da una soluzione di caucciù, poi da vernice, Nel 1812 l'isolamento era abbastanza buono perche lo Schilling — recatosi in Russia per le vicende politiche — riuscisse, mediante fili immersi nella Neva, a far esplodere parecchie mine situate su la sponda del largo fiume opposta a quella dalla quale egli manovrava. Dopo la scoperta dell'Örsted, l'Ampére — *Ann., de Ch. et de Phys.*, a. 1820, T. XV, p. 72 e 73 — esperimentata per consiglio del Laplace la possibilità di far muovere, mediante corrente, ed a grande distanza dalla pila, un ago magnetizzato progettava un telegrafo ad aghi, analogo a quello a voltametri del Soemmering — del quale telegrafo veniva a conoscere dall' Arago l'esistenza dopo che aveva già scritto la sua Memoria — ma che deve considerarsi come il primo telegrafo elettromagnetico ideato — non però, costruito —. Lo costruiva invece lo Schilling riducendo ingegnosamente il numero degli aghi a sei — quello ideato dall'Ampère ne doveva avere uno per ogni lettera dell'alfabeto —: cotesto telegrafo, nell'inverno del 1832 funzionava — *Aperçu* ecc., *già cit.* — tra il *Palazzo d'inverno,* a Pietroburgo, ed il Ministero dei Ponti e Strade; ed un modello di esso — costruito per il prof. Müncke dell'Università di Heidelberg, dopo che il Müncke aveva visto l'invenzione dello Schilling ad una riunione tenuta a Bonn dai naturalisti tedeschi — richiamava l'attenzione del Cooke a segno tale che egli — mentre si trovava ad Heidelberg a studiare anatomia per aiutare poi efficacemente il padre nella confezione di modelli di preparazioni anatomiche — abbandonava gli studi di medicina per darsi a quello del perfezionare il telegrafo dello Schilling; cosa che faceva prima da solo, ed unendosi poi al Wheatstone. Ricorderemo anche il telegrafo di Gauss e Weber — 1833, a Gottinga. Il Mendenhall — *A Century, già cit.* p. 438, nota 1.ª — menziona pure due altre invenzioni: nel 1816 Ronalds aveva costrutto una linea ad un filo, ed usava palline di midollo di sambuco e due ruote sincrone; sforzatosi di richiamare su la cosa l'attenzione del Governo inglese, ne aveva in risposta: « I telegrafi di qualsiasi specie sono ora affatto inutili e nessun altro, salvo quello in uso, sarà adottato ». Come si vede, il Governo inglese se ne stava contento con il telegrafo ottico « Un passo importante » scrive l'eminente Capo dell'*U. S. Coast and Geodetic Survey,* parlando dell'altra delle due invenzioni a cui alludiamo « fu fatto nel 1828 da Harrison Gray Dyar di Nuova York, che inventava un metodo di registrazione nel quale si faceva passare una scarica attraverso ad un foglio umido di carta di tornasole trasferentesi con moto uniforme: si impiantava nel medesimo anno una linea e si esperimentava il sistema ». Tanto il Ronalds che l'Harrison Gray Dyar usavano — pare — elettricità statica.

(2) L'apparecchio del Wheatstone e Cooke comportava originariamente un ricevitore a cinque aghi, che venivano tosto ridotti a due, ed in seguito ad uno: cotesto ultimo ricevitore, alla fine del secolo XIX, non era ancora scomparso completamente dagli uffici telegrafici inglesi, mentre l'altro, che era stato destinato alle linee più importanti, era stato sostituito prima da un apparecchio del Bain, poi da quello del Morse. Il primo esperimento dell' apparecchio di Cooke e Wheatstone — nel 1837, come è detto sopra — fu fatto tra le stazioni di Euston e Camden Town su la ferrovia Londra Birmingham. (3) Lo Steinheil, il grande ottico di Monaco, vi aveva stabilito un servizio telegrafico — per uso del suo stabilimento — con un sistema ad *un solo circuito,* e con cui si poteva segnare su una striscia di carta la traccia del dispaccio: nel 1837, poi, scoprivach e si poteva impiegare la Terra come conduttore di ritorno. (4) Il Morse, agli Stati Uniti, inventava la macchina scrivente e l'alfabeto che ne portano il nome. Su la genesi di coteste grandi invenzioni, il Morse stesso in una pubblicazione di James D. Reid — *The Telegraph in America. Its Founders, Prometers and Noted Men.* New-York, Derby Brothers, 1879 — dava questi particolari: « Prima della fine dei viaggio sul *Sully* » — un bastimento con cui il Morse salpava dall'Havre il 1 ottobre 1832 diretto a New-York — « la invenzione aveva le seguenti proprietà. Mia aspirazione fino dal principio era stata la semplicità sia di mezzi che di risultati. Quindi avevo ideato un *circuito semplice di conduttori* da un generatore qualsiasi di elettricità; disegnato un sistema di *segni* consistente in tratti o punti (*dots or points*) e spazi per rappresentare numerali, e due modi di operare dell'elettricità per *tracciare* o *stampare* cotesti segni su una *striscia o nastro di carta.* Uno era per *decomposizione chimica di un sale* che decolorasse la carta; l'altro per *azione meccanica di un elettromagnete* agente su la carta mediante *una leva,* caricata ad un estremo con una penna o matita. Avevo concepito il progetto del moto *regolare* del nastro di carta mediante *rotismo di orologeria,* per il ricevimento dei segnali. Cotesti procedimenti, come pure i segni calcolati matematicamente, ed adatti alla registrazione, erano schizzati sul mio *sketch book,* su cui avevo disegnato pure le disposizioni per sotterrare i conduttori entro tubi: non molto dopo lo sbarco avevo ideato e disegnato il *sistema delle stazioni.* Ecco le condizioni generali dell'invenzione (toltone il piano delle stazioni) al mio arrivo a New York il 15 novembre 1832... Tra il 1835, epoca alla quale era compiuto il primo istrumento, ed il 1837, epoca in cui gli si diede la maggiore pubblicità, fu fatta ad esso una impor-

a ricevere e trasmettere ai termini di una breve linea (1) con l'apparecchio scrivente e l'alfabeto da lui inventato — non introdotti, però, in Europa se non dopo qualche anno dacchè venivano usati in America —.

Nel 1838 si stabiliva in Europa — nell'Inghilterra, tra Paddington e Slough (2) su la ferrovia *Great Western* — la prima linea telegrafica di quella rete che doveva poi avviluppare il mondo (3); ed in America nel 1843 — alla mezzanotte del 3 marzo, ultimo giorno della sessione — il *Congresso* votava trentamila dollari per una linea da attivare per prova col sistema del Morse — tra Washington e Baltimora — linea che — con fili dapprima sotterranei — veniva stabilita nel 1844.

Da quell'anno glorioso, malgrado ostacoli di ogni maniera, il telegrafo elettrico andò conquistando il mondo, con gli apparecchi meravigliosi per ingegnosità di concetti, per squisitezza di esecuzione, per semplicità e sicurezza di effetti. Vecchie macchine del Breguet, del Wheatstone, di Siemens e Halske, e la ingombrante originaria del Morse, cedettero abbastanza presto il posto a quei capi d'opera della meccanica che sono *l'automatico* Wheatstone, il Goodspeed e Foote — il *Rapido Americano* —, il telegrafo stampante dell'Hughes — che l'Olsen riusciva a rendere automatico —, il piccolo Morse moderno — ridotto nel *sounder* ad un ricevitore in cui non v'ha più nè rotismo di orologeria, nè meccanismo stampante, ma bastano, a ricevere, i colpi dell'àncora battente contro l'elettrocalamita —. E vennero, in mezzo ad una colluvie di apparecchi, i telegrafi *multipli* del Meyer e del Delany; i *multipli stampanti* del Baudot, del Munier, del Don; l'*autografico* del Bonelli, il *pantelegrafo* del Caselli, l'*armonico* del Gray, dell' Edison, del Bell. E gli ultimi anni del secolo vedevano la matita del *telautografo* di Elisha Gray riprodurre a distanza i movimenti di uno stilo mosso come penna che scriva o disegni; vedevano l' apparecchio meravigliosamente rapido di Crehore e Squier: vedevano Pollak e Virag — tra Buda Pest e Pozzony, alla distanza di 400 chilometri — trasmettere 60.000 parole all'ora, mentre appunto i sistemi multipli di telegrafia *duplex*, *diplex*, *multiplex*, (4) permettevano la

tante aggiunta... Sapevo che un elettromagnete, ove sia alimentato da una sorgente ad una grande distanza, può essere talmente debole da non riuscire più atto a *stampare* direttamente. Cotesta circostanza mi aveva dato molto da pensare e mi era stata cagione di vera ansietà, molto prima del 1836, e di discussioni in argomento col mio amico prof. Gale. Però finalmente era giunto ad ideare e disegnare un progetto per ovviare all'inconveniente... Se un magnete, p. es. alla distanza di venti miglia, diventa così debole da non potere stampare *direttamente*, esso potrà però ancora avere forza bastevole a chiudere od aprire un altro circuito per venti miglia successive, e così di seguito fino a raggiungere la stazione lontana. Questa idea più volte avevo esposto agli amici prima del 1836, ma al principio di gennaio di quell'anno, dopo avere mostrato all'amico e collega professor Gale in azione l'apparecchio originario, esponevo a lui il piano completo di una pila di soccorso e di un magnete per rimuovere ogni dubbio su l'attuabilità del mio sistema per generare forza magnetica bastevole a scrivere a distanza ». Vegg. E. HOUSTON, *Electricity*, già cit. a pag. 497. L'ultima asserzione, però, contraddice ad una di quelle dell'Henry, riportate in nota a pag. 438.

(1) MENDENHALL. *A Century*, etc. p. 101.

(2) CULLEY, *Manuale di telegrafia pratica*, vers. di Cappanera, Firenze, 1873.

(3) Vere difficoltà si erano però incontrate nei primi anni. Nel 1844 esse erano vinte, e la invenzione appariva una tale meraviglia che la Compagnia del *Great Western Railway* pubblicava in quell'anno il seguente annunzio molto significativo: « Sotto il patronato speciale della Maestà Reale, COMUNICAZIONI ISTANTANEE tra Paddington e Slough, alla distanza di circa venti miglia, per mezzo del *Telegrafo elettrico*, che può vedersi in azione ogni giorno dalle nove del mattino alle otto della sera al *Great Western Railway*, stazione di Paddington e Cabina del Telegrafo nel recinto della stazione di Slough. Entrata: uno scellino; fanciulli e scuole, metà prezzo ». MENDENHALL, *A Century*, p. 96.

(4) L'idea della trasmissione contemporanea di due dispacci per il medesimo filo rimonta al 1852, quando l'Americano Moses G. Farmer — MENDENHALL, *A Century*, p. 112 — esperimentava con scarso successo un suo sistema a ciò su qualcuna delle linee più corte a Boston. Però la base dei metodi entrati poi in pratica venne data dal Gintl, direttore dei telegrafi austriaci, in un sistema sperimentato — 1853 — tra Praga e Vienna.

trasmissione simultanea, per un unico filo, di più dispacci nei due sensi opposti, o nel medesimo, od entrambe le cose insieme — perfino di quattro dispacci in una direzione ed altrettanti nell'opposta —.

E si ebbe una moltitudine di studi e di metodi collegantisi con la telegrafia, per le misure, per le ricerche di guasti, per il funzionamento dei soccorritori, per la regolazione degli apparecchi, per la loro preservazione dall'azione dell'elettricità atmosferica e di quella generata dall'uomo per le sue industrie. Non è esagerare il dire che una legione di uomini d'ingegno ha consacrato intelligenza e vita a cotesta meravigliosa applicazione dell'elettricità.

Ma non bastava all'uomo il potere trasmettere in un istante il pensiero tra i due punti anche più lontani di una medesima terra, fosse pure il più vasto continente; lo tentava la vittoria della barriera che ai suoi fili parevano mettere le acque. E vinceva. L'idea che nel secolo XVIII aveva sedotto i fratelli de Luc, ed agli albori del XIX l'Aldini ed il Soemmering, molto più tardi il Magrini (1), trovava sicurezza d'indirizzo, efficacia d'impulso, opportunità di mezzi, nella trovata dell'O'Shaughnessy — 1839— di ricoprire di pece e di canapa imbevuta di godrone i fili — che così « anche sotto l'acqua trasmettevano senza perdita apprezzabile i segnali elettrici » —; nel progetto che il Wheatstone ideava fino del 1837 — ed esponeva il 6 febbraio 1840 ad una Commissione della Camera dei Comuni — di collegare l'Inghilterra al continente mediante una linea sottomarina tra Douvres e Calais che servisse alla trasmissione di segnali mediante il suo telegrafo; nella scoperta delle preziose proprietà della guttapercha e delle manipolazioni che deve subire — i primi campioni venivano presentati alla *Società Reale asiatica* di Londra da

Vennero poi subito altri, come il Wartmann, e Frischen e Siemens — 1854, indipendentemente l'uno dall'altro. — Nel 1855, come si rileva dal Blavier — *Cours théor. et prat. de Télégraphie électr.* Parigi, De Lacroix-Comon, 1857 — la questione era molto agitata; però la telegrafia in *duplex* divenne possibile solo quando Giuseppe Stearns di Boston, dopo tentativi durati parecchi anni, riusciva, con concetti molto originali, ad ottenere risultati decisivi — 1872 — su la linea New York-Boston. Il contributo portato dallo Stairns apparirà subito nella sua vera luce quando si pensi che già nel 1875 — L. Schwendler, « *On the general Theory of Duplex Telegraphy* », *Phil. Mag.*, a. 1875, T. L, p. 458 — una trasmissione in duplex durata dodici mesi, in via di esperimento, sulla Calcutta-Bombay — linea di milleseicento miglia — aveva dato, in cattive condizioni climatologiche, esito buonissimo. Ricordiamo ancora come benemeriti della telegrafia in duplex il Preece, il Wheatstone, il Vaez di Rotterdam, il Winter, C. Varley. Quanto alla telegrafia diplex — trasmissione contemporanea di due dispacci per il medesimo filo e nel medesimo senso — pare che il primo ad idearla fosse lo Starcke di Vienna — 1855, secondo il Mendenhall — il cui sistema veniva sperimentato tra Vienna, Trieste e Gratz, e che, pensando alla combinazione della sua invenzione con quella del Gintl, aveva veduto la possibilità della trasmissione quadruplex. — Però — tornando alla diplex — nè lo Starke, nè il Duncker, nè il Wartmann, riuscirono a renderla veramente pratica: questo merito va attribuito al Meyer, che, invece di utilizzare correnti di potenza diversa, come avevano fatto gli altri, ideava di impiegare per la trasmissione di uno dei dispacci gl'intervalli in cui la linea è libera durante la trasmissione dell'altro.

(1) I fratelli de Luc — Aldini, *Mém. concern. le passage du Galvanisme à travers une partie de l'Ocean*, pag. 205 e seg. dell'*Essai théor. et exp. sur le Galvanisme*, Parigi, De Fournier Fils, 1804 — facevano esperienze di trasmissione di cariche statiche nelle acque del Lago di Ginevra; il Soemmering — Wunschendorff, *Tr. di Télégr. Sous-mar.*, Parigi, Baudry et C., 1888 — faceva altrettanto — 1808 e 1815 — a Pietroburgo ed a Parigi; il Morse ed il di lui amico prof. Gale — Sewall, *Wireless Telegraphy*, Londra, Crosby Lockwood a. Son, 1903 — facevano, l'uno il 16 Dicembre 1842 attraverso ad un canale largo ottanta piedi, l'altro attraverso il Susquehanna-River ad Havre de Grâce, trasmissioni di telegrammi valendosi dell'acqua come conduttore. Il Magrini nel 1844 — lo raccontava all'a. il compianto d. Carlo Landriani, direttore del *La Perseveranza* di Milano, che era stato testimonio oculare — faceva agire a distanza un galvanometro valendosi dell'acqua del Naviglio — tra Milano e Cernusco — come linea; prime trasmissioni, coteste, dei due americani e del nostro Magrini, di *telegrafia senza fili*. Analogamente — Sewall, op. c. — riusciva più tardi lo scozzese Giacomo Bowmann Lindsay a trasmettere attraverso all'acqua della Tay dove cotesto fiume raggiungeva le due miglia; nel 1854 egli otteneva anzi una patente inglese per il suo sistema, e nel 1859 — uditori il Faraday ed il Kelvin — leggeva alla *British Association* una comunicazione col titolo « *Thelegraphing without Wires* ».

José d'Almeida nell'aprile 1843, veniva studiata poi dal Montgomery, raffinata per la prima volta da Carlo Hancok, impiegata a coprire dei fili metallici con procedimento industrialmente pratico, e largamente impiegata nella telegrafia, per la prima volta, su la rete prussiana nel 1846 da Werner Siemens —; nei preziosi ammaestramenti tratti dalla posa del primo cavo transatlantico nel 1857 e nel 1858; nello studio della Commissione nominata nel 1859 dal *Board of Trade* e dalla *Atl. Telegr. Co* (2) per un'inchiesta « su la miglior maniera di costruire, posare, e mantenere i cavi sottomarini »; nei lavori teorici e negli apparecchi ideati dal Kelvin — tra i primi si ricordi quello del 1856 con cui si dimostrava assurda la via, seguita fino ad allora,

Trasmissione della corrente elettrica attraverso ad un braccio di mare nel porto di Calais.
Esperienza dell'Aldini, eseg. il 27 febbraio 1803.

Ripr. della Tav. VIII dell'op. orig. dell'Aldini *Essai théor. et exp. sur le Galvanisme*, Parigi, De Fournier, 1804.
Legg. espl. — Su la *jetée d'Ouest* — a destra nella figura — la pila su uno sgabello isolante. Dei fili partenti dai poli, uno si portava al *Fort Rouge* — a sin. nella Fig. — l'altro era guidato, mediante palo, all' acqua. Dal Fort Rouge un altro filo era pure guidato ad immergersi nell'acqua, mentre all'altro estremo si portava ad una disposizione galvanoscopica a cui faceva capo anche il filo giungente dalla *jetée d'Ouest*.

del crescere la potenza della batteria; tra i secondi il celebre galvanometro ed il *siphon recorder* — e dei quali si sarà detto quanto basta a mostrarne l'importanza, quando si sarà richiamato come prima dei lavori ed apparecchi del Kelvin si trasmettesse in ragione di due o tre parole al minuto, e dopo di essi — e coi perfezionamenti introdottivi in progresso di tempo nei particolari — si arrivasse alle duecentocinquanta.

Già durante cotesto periodo erano stati posati, e funzionavano, il cavo della Manica tra i capi Southerland e Sangatte — il primo, inaugurato il

(2) Rappresentavano il *Board of Trade* Douglas Galton, Wheatstone, Fairbairn e Giorgio Bidder; la *Atl. Tel. Comp.* Edvin Clark, Cromwell F. Varley, Latimer Clark, e Giorgio Saward. La Commissione fu aiutata nei suoi lavori da altri eminenti scienziati, quali il Matthiessen, l'Allen Miller, Werner e Guglielmo Siemens, Fleeming Jenkin, i quali facevano conoscere alla Commissione le proprietà elettriche del rame puro od allegato ad altri metalli, le proprietà della guttapercha, la permeabilità all'acqua delle differenti sostanze impiegate come isolanti, le cause chimiche della loro alterazione, i fenomeni elettrici di carica e d'induzione nei cavi, metodi nuovi di prova per le condizioni elettriche dei conduttori sottomarini e per la ricerca dei guasti, la teoria della immersione dei cavi, e molti risultati di studi ed esperienze su tanti altri punti capitali. La Commissione lavorò con una alacrità di cui la storia fornisce pochi esempi e che si potrebbe chiamare febbrile. Basti il notare che nell'aprile del 1861 essa presentava già la sua relazione, la quale costituisce un documento da cui — si può dire — la telegrafia sottomarina ebbe una nuova vita, non certo facilmente sperabile dopo insuccessi che avevano assorbito milioni e milioni di lire.

25 settembre 1851 —; quelli dalla Spezia alla Corsica, dalla Corsica alla Sardegna, dalla Sardegna a Bona; il cavo leggiero del Mar Nero — 1855, tra Varna e Balaklava — del quale fu detto che senza di esso non vi sarebbe stato un « Duca di Malakoff »; i cavi da Cagliari a Malta e da Malta a Corfù — entrambi nel 1857 —; e, oltre al grande cavo transatlantico del 1857 e 1858 — che si guastava subito, sì che non servì mai per il pubblico —, quelli tra Suez e Aden — 1859 — e tra Aden e Kurrachee — 1860 —, ed altri, ed altri.

Restava però sempre davanti al mondo tecnico e al finanziario il problema imponente del cavo transatlantico: ma nel 1866, dopo avvenimenti che si potrebbero chiamare drammatici (1), anche quella grande, titanica, lotta sostenuta contro le immani difficoltà che le onde e le profondità dell'Atlantico parevano rendere invincibili, segnava un trionfo, un immenso trionfo; e, con esso, si suggellava la conquista degli abissi dell'oceano, divenuti strada più che l'altre sicura alle vibrazioni elettriche — docili schiave della volontà dell'uomo, ministre fedeli della sua intelligenza —

Perchè, nella Terra, fosse completo il dominio sugli elementi in cotesta trasmissione istantanea del pensiero, occorreva ancora sbarazzarsi dell'ingombro del filo, occorreva che le onde elettriche potessero spaziare libere per l'aria.

Amos Emerson Dolbear, di Sommerville nel Massachusets, nel 1882 (2); l'Edison — nel 1885 (3) —, il Wimshurst, i Rathenau, Evershed e Vignolle, lo avevano ideato, o tentato senza successo pratico: il Preece — l'eminente uomo che per tanti anni diresse il *Post Office* — lo aveva potuto, ma solo per piccole distanze — la prima volta nel 1883, tra l'Inghilterra e l'Isola di Wight —; ed il suo sistema nel 1895 aveva sostituito nello Stretto di Mull il breve cavo sottomarino mentre questo si stava riparando.

Riusciva invece in modo veramente meraviglioso Guglielmo Marconi, ricorrendo alle onde hertiziane prodotte e ricevute in circostanze nuove e che apparvero singolari; e più precisamente con l'impiegare quale generatore un oscillatore del Righi collegato per uno dei poli alla terra, per l'altro ad un filo metallico della lunghezza di parecchie diecine di metri, fissato ad opportuna antenna, e come ricevitore un *coherer* — uno di quei tubetti che sistematicamente aveva studiato per primo il Calzecchi — collegato pure con un'antenna.

Come avviene delle grandi invenzioni, anche quella del Marconi non fu l'opera di un giorno, nè ad essa fu facile il cammino.

Dopo i primi studi fatti in Italia, e che si collegano con una pagina penosa per chi non vorrebbe mai l'azione della burocrazia ufficiale ostacolo al progredire del paese, il Marconi — legato all'Inghilterra per nazionalità della madre — si portava a Londra, e, chiesta il 2 giugno 1896 la patente per la sua invenzione, esponeva questa nel luglio dello stesso anno al Preece, direttore generale del *Post Office*. Il grande ingegnere inglese non esitava a farsene fautore ed apostolo, mettendo da banda completamente — con esempio meritevole di memoria immortale — il suo sistema. La invenzione del Marconi veniva sperimentata tosto al *General Post Office*, e poco dopo nella pianura di Salisbury, su una distanza di due miglia — usandovisi riflettori pa-

(1) Veggasi l'interessante volumetto di W. de Fonvielle *La pose du premier Cable*, Parigi, Hachette, 1882.
(2) SEWALL, *op. cit.* a pag. 548, nota 1.ª.
(3) *Ibid.*

rabolici di rame. — Nel maggio 1897 seguivano prove su scala più vasta nel Canale di Bristol, tra Lavernock, al sud di Penarth, e l'isoletta di Flat Holm, distanti tra loro 3,3 miglia; poi tra Lavernock e Brean Down — poco a sud di Weston-super-mare — lontane 8,7 miglia; ed in coteste prove si lasciavano da banda i riflettori. Il 13 di quel mese, dopo due giorni d'insuccessi che avevano fatto temere dell'avvenire dell'invenzione, l'avere portato a 50 *yards* l'altezza dell'antenna, permise invece un successo decisivo.

Seguiva poi un viaggio del Marconi in Italia, ove ripeteva in Roma — per le LL. MM. il Re e la Regina — ed alla Spezia — per incarico del Governo — le esperienze, arrivando — nel Golfo della Spezia — a distanza quasi doppia di quella tra Lavernock e Brean Down.

Tornato in Inghilterra, il grande inventore trasmetteva con esito buonissimo tra Bath e Salisbury — distanza 34 miglia —, dopo di che veniva impiantata ad Alun Bay, nell'Isola di Wight, la prima stazione permanente.

E mentre il Kelvin visitava la stazione di Alun Bay; mentre il *Daily Express* di Dublino — luglio 1898 — se ne valeva per avere telegraficamente le notizie su le regate di Kingstown, ed il Principe di Galles voleva stabilite le comunicazioni radiotelegrafiche tra Osborne ed il suo yacht; mentre, insomma, la invenzione si andava facendo strada, il Marconi continuava a perfezionarla. « Fu nel 1898 » così egli nella memoranda conferenza tenuta in Campidoglio il 7 maggio 1903 — « che ottenni i primi risultati sul sistema di accordo elettrico fra stazioni radiotelegrafiche che mi hanno reso possibile di risolvere in massima il problema di ottenere l'indipendenza di comunicazione tra varie stazioni vicine ». Cosa strana, fu « forse osservando il modo nel quale viene ottenuto il suono a distesa delle grandi campane delle nostre chiese mediante le corde tirate da uomini alla base dei rispettivi campanili » che il Marconi trovava « una meccanica analoga con quanto poteva avvenire nell'utilizzazione dell'energia elettrica irradiata dagli apparecchi trasmettitori », trovava, cioè, la fiaccola che doveva guidarlo nell'oscuro e difficile cammino, cosicchè già sul principio del 1900 aveva ottenuto oscillatori e risuonatori perfettamente accordati.

Alla fine del secolo, il Marconi era riuscito « a poter ricevere o trasmettere in una stazione due dispacci contemporaneamente oppure a rendere due stazioni come quella di Poole e quella di S. Caterina nell'isola di Wight indipendenti dalle stazioni vicine, ove per conto dell'Ammiragliato inglese funzionavano allo stesso tempo altri simili apparecchi. Anzi alla stazione di Poole vennero fatte recezioni di radiotelegrammi simultanei in differenti lingue ».

Qui si arresta il compito nostro; compito gradito perchè ci ha permesso ricordare che alla storia di una grande, stupefacente invenzione — quella della *radiotelegrafia*, o *telegrafia senza fili di linea* — si associava ancora una volta il nome italiano col Calzecchi, col Righi, e soprattutto col Marconi, il cui genio — con i perfezionamenti ulteriori dei processi sintonici e col *detector magneticus* — trovava il mezzo perchè le onde elettriche — non avvertibili nel gabinetto del fisico se non alle piccole distanze di diecine di metri dal centro di produzione — valessero a stabilire comunicazioni eteree

tra luoghi separati da distese di contenenti, da catene di monti, più tardi dall'oceano medesimo.

Occorrerebbero volumi ad illustrare in modo completo la storia dei progressi nella telegrafia elettrica, che pure abbracciano solo un periodo, non lungo certamente, di un sessantennio. Impossibilitati a dire di più, ricorderemo almeno qualche dato che valga a mettere in luce la diffusione del mirabile trovato alla fine del secolo XIX.

Ove si tolgano le Terre Polari ed il centro dell'Africa, si può dire che tutti i continenti erano avviluppati da reti di fili, a maglie in alcuni punti fittissime. Così — cominciando dalla telegrafia aerea e sotterranea — la Germania, l'Austria-Ungheria e la Francia, alla fine del 1899 avevano, complessivamente, circa 45.000 uffici, 108.000 apparecchi, ed uno sviluppo di fili ammontante ad oltre 1047 migliaia di chilometri; ed agli Stati Uniti, dove molte erano le Compagnie esercenti l'industria della telegrafia, una sola di esse, la *Western Union* — alla fine dello stesso anno 1899 — aveva 22.547 uffici con 78.000 apparecchi, un impianto comprendente oltre 1.476.000 chilometri di filo, ed aveva spedito nell'ultimo anno di esercizio 63.000.000 di telegrammi, realizzando un utile netto di circa 31 milioni di franchi.

Quando poi si volesse farsi un'idea dello sviluppo della rete mondiale, basterebbe riflettere che, dalle pubblicazioni del *Bureau International des Administrations Télégraphiques* — stabilito a Berna — si ricava come, pur togliendo il Portogallo, la Grecia, la Turchia, la Persia, Ceylan, il Siam, l'Australia Occidentale, la Nuova Galles del Sud, la Tasmania, la Colonia del Capo, e nientemeno che le Americhe — ad eccezione, per queste, delle colonie europee — alla fine del 1899 si avevano 887.346 chilometri di linee telegrafiche con uno sviluppo di fili ammontante a 3.017.135 chilometri!

Nè, tenuto conto del costo e delle difficoltà, era meno imponente lo sviluppo della telegrafia sottomarina. Si può dire che tutti i continenti erano fasciati da cavi colleganti le diverse città costiere: l'Australia era da anni collegata con l'Indocina, questa con l'Inghilterra, e molti erano i cavi solcanti il letto dell'Atlantico per riunire l'Europa alle due Americhe. Al principio del secolo XX — cinquant'anni soltanto dopo la immersione del primo — erano in attività 1750 cavi con uno sviluppo complessivo di 354.547 chilometri.

E lo sviluppo della rete telegrafica mondiale proseguiva attivamente, in modo speciale nell'Asia e nell'interno dell'Africa: ci basti ricordare, di questa — oltre alle etiopiche — la grande linea di 7000 chilometri destinata a collegare la Colonia del Capo all'Egitto attraverso a tutto il Continente Nero; ricordare, dell'Asia, il cavo da Tschifu a Woosung, lungo poco meno che 1200 chilometri e posato nel 1900; ricordare che era entrato nella fase di esucuzione il progetto del grande cavo del Pacifico — da Vancouver nell'America del Nord al Queensland ed alla Nuova Zelanda — lungo 13.300 chilometri.

Quanto all'Italia, dai dati relativi all'esercizio 1898-99 si rileva che essa possedeva allora 42.557 chilometri di linee aeree — con un sviluppo complessivo di 165.009 chilometri di filo — e 33 cavi, per una lunghezza totale di 1970 chilometri e con 2091 chilometri di conduttori. Aveva, poi, in attività 6047 apparati Morse in semplice, 179 Hughes, 8 gruppi completi

di automatici Wheatstone, 14 di questi per semplice trasmissione e 68 per solo ricevimento: la corrispondenza in *duplex* era rappresentata da 12 Morse, 22 Hughes, 14 Baudot; la *quadruplex* da 11 Baudot.

Della *radiotelegrafia*, sempre riferendoci alla fine del secolo XIX, lo sviluppo era oggetto di speranza, non era un fatto.

Ciò si spiega facilmente. Non è, invero, a dimenticarsi che, se in Russia il Popoff — il quale, prima del Marconi, per segnalazioni meteorologiche si era valso di *coherer*, di collegamenti a terra e ad aste di parafulmini —; in Germania lo Slaby ed il Conte d'Arco; in Inghilterra il Lodge — che fino dal 1894 aveva fatto una celebre comunicazione su l'oscillatore dell'Hertz, il *coherer*, ed i suoi studi — ed altri scienziati ed inventori di ogni paese si erano subito occupati di essa, il primato venne sempre tenuto — e con superiorità immensa — dal Marconi; che furono anzi le esperienze del Marconi il fatto che richiamò l'attenzione su cotesta applicazione pratica delle onde hertziane. Ora, la prima domanda di patente del Marconi data, come fu detto, dal 2 giugno del 1896; e Lavernock e Brean Down — le stazioni tra cui furono fatti i primi esperimenti pratici veramente importanti — distano solo di 15 chilometri. Nel luglio 1897 alla Spezia il Marconi raggiungeva come già si disse la distanza massima di quasi 30 chilometri, ed arrivava ai 60 il Pasqualini nel 1898; al principio del 1899 il sistema poteva già funzionare in parecchi punti delle coste e delle isole inglesi, e nel 1900 si facevano impianti in parecchie località nordamericane del Golfo del Messico. Tutto ciò prova che non vi fu tempo perduto, e che forzatamente lo sviluppo della radiotelegrafia era riservato al secolo XX, nei cui primi anni, poi, una nuova idea singolare (1) doveva apparire su l'orizzonte per aprire l'adito a maggiori speranze — non ancora, per altro, realizzate. —

Prodigioso invece era stato quello delle applicazioni del *telefono*.

Di cotesto apparecchio si attribuisce comunemente la invenzione allo scozzese Graham Bell — un istitutore di sordomuti trasferitosi col padre da Edimburgo a Boston —. Ciò non è completamente esatto (2); però è

(1) V. ALESSANDRO ARTOM. *Sulla produzione dei raggi di forza elettrica a polarizzazione circolare od ellittica*, in *Rendic. della R. Acc. dei Lincei*, seduta del 15 marzo 1903.

(2) Per la storia del telefono elettrico sono a ricordarsi: la invenzione dei cosidetti *toni galvanici* degli americani Page e Henry — 1837 — che avevano osservato come un'elettrocalamita — magnetizzandosi e smagnetizzandosi rapidamente per rapide interruzioni ed inversioni della corrente — potesse dare dei suoni; le idee di Borseul che — veggasi l'eccellente volumetto *Il telefono* dell'ing. G. Motta, Milano, Hoepli, 1904 — nel 1854 scriveva: « Supponete un uomo che parli davanti a un disco mobile sufficientemente flessibile perchè nessuna vibrazione sonora vada perduta: supponete che questo disco *chiuda* ed *apra* il circuito di una pila, per effetto delle vibrazioni: si potrà avere a distanza un altro disco il quale ripeta simultaneamente le stesse vibrazioni »; la comunicazione alla Società di fisica di Francoforte s. M. fatta il 26 ottobre 1861 da Filippo Reis maestro di scuola a Friederichsdorf, con la quale questi presentava il suo *telefono musicale* — apparecchio basato su la scoperta di Page ed Henry e su le idee del Bourseul — dal quale si aveva la trasmissione, a distanza abbastanza grande, di suoni musicali ed anche della parola; i telefoni Reis perfezionati che Yeates e van de Waide presentavano nel 1860 al Circolo Politecnico di Filadelfia, e Cécil e Leonard Wray esponevano nel 1876 in Inghilterra; l'apparecchio di cui Elisha Gray presentava i disegni nello stesso giorno — 14 febbraio 1876 — in cui il Bell chiedeva la patente americana per il suo L'Italia ha pure la sua parte in coteste invenzioni anteriori a quella del Bell: gliela assegnano, come è notorio, Antonio Meucci — un fiorentino stabilitosi nel 1845 in America, ove, a New York, nel 1853 ospitava Garibaldi —; e, come è meno noto, un *geometra* di Aosta, secondo prova una importante monografia — TIBALDI TANCREDI GIUSEPPE, *L'inventore del telefono, Innocenzo Manzetti di Aosta*, Torino, Roux Frassati e C., 1897 — nella quale si dice che il Manzetti aveva costruito e fatto funzionare fino dal 1861 un apparecchio — *télégraphe parlant* — affatto simile al telefono del Bell; apparecchio del quale parlarono *Il Diritto* del 10 luglio 1865 ed il *Petit Journal*, di Parigi, del 22 novembre successivo. Per la storia del telefono veggansi anche: CIVITA, *Telefono*, Torino, Unione Tipografico-Editrice 1895, e KEMPSTER B. MILLER, *American Telephone Practice*, New York, American Electrician Campany, III Edizione.

vero, invece, che da quando — e solo da allora — il Bell presentava alla *Centennial Exhibition* di Filadelfia la sua invenzione — che il più grande elettricista vivente, lord Kelvin, chiamava « la meraviglia delle meraviglie nella telegrafia elettrica » — l'attenzione del mondo — scientifico e non scientifico — si fissava sul problema della trasmissione a distanza dei suoni e della parola mediante l'elettricità.

Il telefono originario del Bell — una vera macchina elettromagnetica riversibile, in cui le vibrazioni di una membrana di ferro del *trasmettitore* generano delle correnti indotte, le quali passando nel *ricevitore*, fanno che la membrana di questo riproduca le oscillazioni della prima — in pratica non avrebbe potuto servire. Una moltitudine di fisici, di meccanici, di elettricisti, si pose intorno al nuovo meccanismo, ed in pochi anni il numero dei tipi di apparecchi si potè uguagliare a quello delle pile o delle dinamo. Chi mai potrebbe numerarli tutti? Diciamo solo che in alcuni, quasi, si cercherebbe invano qualcosa che si assomigli al telefono originario del Bell.

Contribuirono singolarmente a rendere pratica la trasmissione telefonica il *microfono* (1) invenzione molto geniale dell'Hughes — 1877 — ed il *telefono a batteria* od *a carbone* dell'Edison, che primo mostrava come per la trasmissione telefonica anzichè le debolissime correnti indotte dell'apparecchio del Bell potessero applicarsi le energiche inducibili mediante una corrente di pila (2).

I miglioramenti nelle trasmissioni e la utilità della invenzione fecero ben presto pensare all'applicazione, e sentire il bisogno di mettere il telefono al servizio del pubblico. Già il 12 novembre 1877 a Friederichsberg presso Berlino s'impiantava un'amministrazione dei telefoni a servizio della posta imperiale dello Germania, e nel 1882 il territorio postale di cotesto impero contava 1280 posti telefonici in piena attività. E si andarono creando gli *uffici centrali* di commutazione con *tavoli* e *multipli* — semplici nell'organismo elementare, imponenti dal lato costruttivo per la moltitudine delle parti — tra cui, per la loro diffusione, ebbero importanza speciale quello della *Western Electric Co.* di Chicago — applicato, oltre che in America, a Cristiania, a Stoccolma, a Liverpool, ad Anversa, a Milano — quello di Kingsbury, quello di Hills, e, meraviglioso sopra tutti, quello dell'*Express System* di Sabin e Hampton.

Mentre andavano sorgendo qua e là nel mondo le *reti urbane* con una rapidità prodigiosa e di una importanza impressionante — nel 1881 agli Stati Uniti si avevano già 70.000 telefoni al servizio dei privati, e nel 1888

(1) Il microfono dell'Hughes consta di un piccolo fuso verticale di carbone, le cui punte si trovano nelle cavità di due mensolette orizzontali, pure di carbone, fissate in una membrana verticale: il fuso ha la possibilità di lievi movimenti per urto Quando la membrana vibra, una corrente elettrica che lo attraversi subisce delle variazioni d'intensità, perchè varia la pressione delle punte del fusetto contro la cavità in cui si impernia, — secondo un fatto osservato nel 1856 dal Du Mancel, e consistente in ciò che un aumento di pressione di due corpi in contatto diminuisce la resistenza elettrica del loro sistema. —

(2) Il telefono a carbone dell'Edison è basato sullo stesso fatto che il microfono dell'Hughes; fatto di cui l'Edison si credette lo scopritore. In cotesto telefono una pastiglia di nerofumo è premuta contro una membrana, e per essa passa la corrente di una pila che circola nel primario di un apparecchio ad induzione. Le vibrazioni sonore, facendo variare la resistenza elettrica della pastiglia, determinano delle fluttuazioni nella corrente della pila, le quali generano nel secondario delle correnti indotte, che si possono ottenere assai più energiche di quelle del telefono Bell.

si avevano a Baltimora un ufficio centrale per 4900 abbonati, a Boston uno per 4200; a Pittsburg, Louisville, Filadelfia, 4000 fili — si pensava alla telefonia a grande distanza, per la quale, più che gli apparecchi, offrivano difficoltà le linee, con i loro fenomeni di capacità elettrostatica e di induzione. Ma qui pure la scienza trionfava, e il 29 settembre 1882 si comunicava bene tra Dresda e Monaco; e, grazie specialmente all'impiego di una doppia linea in filo di rame purissimo, nel 1888 Boston e Chicago erano già collegate telefonicamente; qualche anno dopo — 1893 — lo erano Chicago e New-Yorck — lontane tra loro circa 1800 chilometri —.

Meno — assai meno — brillanti, quanto a distanza massima raggiungibile, furono i risultati nell'applicazione del telefono ai cavi subaquei. Quantunque già nel 1878 tra Sangatte e la costa inglese si fosse stabilita la comunicazione telefonica mediante un cavo sottomarino; quantunque alla fine del secolo fossero molte le linee subacquee brevi — la rete dell'Inghilterra, ad esempio, era collegata con quella dell'Irlanda —; quantunque uomini di valore — ricordiamo la comunicazione *Ocean Telephony* fatta al Congresso di Chicago da Silvanus P. Thompson — abbiano studiato il problema, le onde sonore dell' Europa non hanno ancora potuto far vibrare la docile membrana al di là dell'Atlantico.

Lasciando a parte cotesto lato, lo sviluppo della telefonia, se, alla fine del secolo, era minore di quello della telegrafia, era però sempre enorme, come dimostrano per l'Europa i dati relativi pubblicati dal *Bureau International* di Berna (1).

Ad essi si può aggiungere che per la Gran Bretagna, al principio del secolo XX — al 31 marzo 1901 — le sole comunicazioni interurbane avevano 312 uffici centrali e 123.697 chilometri di filo, e che agli Stati Uniti alla fine del 1900 i posti telefonici montati con gli apparecchi di una sola Compagnia — la *American Telephone and Telegraphe C.* — sommavano a 800.880, e si avevano — in relazione — 3.165.548 chilometri di filo per il servizio degli abbonati e delle cabine pubbliche.

(1) Ecco i dati relativi ad alcuni Stati dell'Europa, e riguardanti il 1899:

STATI	RETI URBANE		RETI INTERURBANE	
	Linee Chilometri	Fili Chilometri	Linee Chilometri	Fili Chilometri
Germania	35·062	444·977	26 911	109·574
Francia	16·764	252 024	24·773	70·909
Svizzera	13·476	71·478	?	14·712
Austria	?	92 081	8·524	18·136
Ungheria	1·877	32·069	5·807	19·043
Belgio	?	40·613	?	13·492
Paesi Bassi	95	22·730	1·550	10·396
Russia	6·848	66·642	1·484	5 401
Svezia	?	86 018	10·885	57·468
Norvegia	6·683	58·416	11·971	20 081
Danimarca	7·140	61·951	1·809	3·744
Spagna	8·129	38·376	2·089	6·915
Totale	96·066	1·267·389	95 803	349·871

La diffusione, poi, andava crescendo rapidamente: a S. Francisco di California, per recarne un esempio cospicuo, un abbassamento di tariffa aveva fatto salire in breve il numero degli abbonati da 4.400 a 20.400!

Quanto al nostro paese, sgraziatamente, la telefonia era — ed è — ben lungi dal grado di sviluppo che dovrebbe avere.

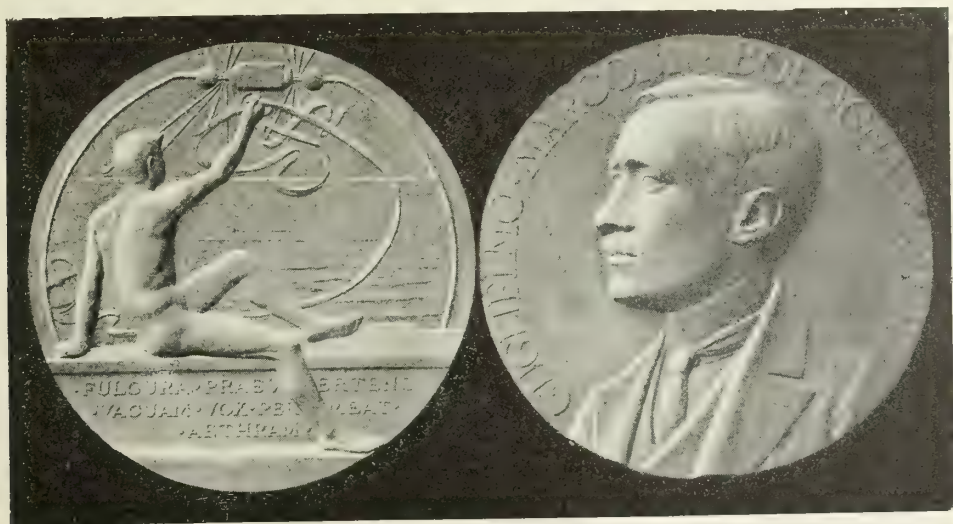
Mentre nell'ottobre del 1879 il Governo francese decideva d'un colpo di collegare telefonicamente con centri maggiori 685 comuni — troppo piccoli perchè valesse la pena di impiantarvi un ufficio telegrafico —; mentre nel 1881 le piantagioni di zucchero delle isole Fiji nell'Australia erano già servite dal telefono; mentre nel 1882 comunicavano tra loro telefonicamente gli abitanti di centri diversi delle Isole Sandwich, e nel 1887 il telefono funzionava su le poste della Finlandia; il paese nostro doveva aspettare il 1894 per avere il primo collegamento intercomunale, quello di Milano con Monza! E quando il telefono funzionava già a distanze notevoli nell'Etiopia, ed Odessa era collegata con Nikolajew, Rostow con Taganrok, Milano non lo era ancora con Genova! Alla metà del 1899, poi, secondo le statistiche ufficiali del Ministero delle Poste e Telegrafi si avevano in tutta Italia 13.859 abbonati privati e 2700 abbonati governativi, provinciali e comunali; vale a dire, in complesso, una metà all'incirca di quelli che contava alla stessa epoca una sola città — Chicago —!

Accenniamo di passaggio ai tentativi diretti a rendere possibile la trasmissione telegrafica e telefonica concomitanti per un medesimo filo di linea, che malgrado i molti studi fatti — tra cui celebri ed ingegnosi quelli del van Rysselberghe — non dovevano avere una realizzazione pratica se non nel secolo XX — col sistema Bruné-Turchi —, ai tentativi — tra cui fece chiasso, senza fondamento — quello di Russo de Azar — per una *telefonia senza fili di linea*; al *fotofono*, l'apparecchio usato dalla *radiofonia* — accennata da Graham Bell la prima volta alla *R. Soc.* di Londra il 17 maggio 1878, oggetto di una relazione dello stesso Bell alla riunione di Boston, seduta del 27 agosto 1880, della *Am. Ass. for the Adv. of Science* —; sistema di trasmissione che si basa su l'azione dei raggi luminosi sul selenio, e del quale si occuparono originariamente il Bell con l'amico suo Summer Fainter, in seguito parecchi fisici — tra cui in modo cospicuo il Mercadier (1), lord

(1) Willoughby Smith aveva scoperto nel 1873 — e comunicato alla *Soc. of Telegr. Eng.* di Londra — che la resistenza elettrica di una sbarra di selenio cristallino è minore quando questa è esposta all'azione della luce, che non quando essa rimane nell'oscurità. Werner Siemens — *Monatsber.* dell'Acc. di Berlino, a. 1875, p. 280 — aveva riconosciuio la verità del fatto scoperto dal grande ingegnere e scienziato inglese, e trovato che il selenio, dopo opportune preparazioni, per l'azione della luce può perdere perfino i $^4/_5$ della resistenza elettrica che esso presenta nell'oscurità. Un lavoro importante su l'interessante fenomeno — « *The Action of Light on Selenium* » in *Phil. Trans.* T. CLXVII, a 1877, p. 313 a 349 — facevano l'Adams ed il Day. Ed anche in Italia se ne occupavano in modo geniale il Bellati ed il Romanese — Atti del R. I. Veneto, 1883 — il Semmola — *N. C.*, a. 1894, T. XXXV, p. 136 — ed il Majorana — *Rendic. della R. Acc. d. Lincei*, a. 1894, T. III, 1.° sem., fasc. 8; ed a. 1896, T. V, 1.° sem. fasc. 2 —. Bell e Fainter, studiando cotesta singolarità, e valendosi di un telefono al luogo del galvanometro — per accertare l'esistenza e la intensità delle correnti — furono condotti a telefonare mediante un fascio di raggi luminosi paralleli. Sperimentando con una disposizione basata su cotesto principio, ed in cui faceva da trasmettitore uno specchio — vibrante a guisa di membrana telefonica e riflettente un raggio di luce che andava a colpire un ricevitore al selenio — essi ottennero — a Washington — la riproduzione della parola — tra due case lontane oltre 200 metri — anche valendosi di luce fornita da una lampada a petrolio. Mercadier e Chaperon, poi, trovarono il solfuro d'argento preferibile al selenio. Aggiungiamo ancora che nel 1899 si fecero a New-York — con apparecchi ideati da Hammond V. Hayes e E. R. Cram — degli esperimenti di radiofonia che destarono molto interesse Però, mentre da tutti cotesti studi si ebbero fatti interessanti la scienza pura, ed idee che avevano di mira la pratica — il Mercadier, ad esempio, ebbe quella di applicare i principî della radiofonia ad un sistema di telegrafia multipla — in realtà nulla venne da essi che potesse considerarsi pratico.

Rayleigh, il Preece; al *termofono*, analogo al fotofono e solo differente da questo perchè vi si usano raggi calorifici anzichè quelli luminosi.

Veniamo piuttosto ad un'altra grande applicazione moderna dell'elettricita, quella che ne fu fatta alla trazione.

Essa ha avuto un periodo lungo di preparazione. È il periodo che dal 1834 — quando il Jacobi cominciava ad occuparsi di quel suo motore con cui doveva nel 1837 rimontare, sia pure lentamente, la Neva, e dell'altro capace di sopportare il peso di un uomo e ch'egli faceva muovere su delle rotaie — va al 1879 — quando, alla Esposizione Industriale di Berlino, quel grande pioniere della elettrotecnica che è la Casa Siemens ed Halske faceva correre su una ferrovia ovale lunga trecento metri un piccolo carro che ne

Medaglia commemorativa coniata in onore del Marconi.

rimorchiava un altro, sul quale poteva prendere posto una ventina di persone, sedute lungo i fianchi come in certi veicoli caratteristici del centro della Russia e del mezzodì dell'Irlanda.

Sono quarantacinque anni, durante i quali in Europa ed in America il problema della trazione elettrica tentava persone di condizione e coltura le più disparate: poveri operai ed uomini di scienza. Operai, come Tomaso Davenport, fabbro di Brandon nel Vernont, che esponeva nell' autunno del 1835 a Springfield nel Massachussets un carro cui un meccanismo magnetoelettrico — mercè una batteria portata dal carro stesso — faceva muovere su un piccolo binario circolare, o come Giorgio Green — un povero meccanico di Kalamazoo nel Michigan — che aveva tra altro, nel 1875, la idea di portare la corrente al motore mediante un filo aereo; uomini di scienza, come il Page dell'Istituto Smithsoniano, la cui automotrice elettrica — simile nella forma ad una locomotiva a vapore, e con un motore da 16 cavalli — nel 1851 raggiungeva — a Bladensburg, sui binari della Baltimora-Washington — la velocità di trenta chilometri all'ora, od il Bessolo, nelle cui patenti — 1855 — è, come negli studi del Green, l'idea di alimentare carri mobili — su vie ordinarie o su binari — con una conduttura isolata, sospesa al modo delle comuni linee telegrafiche.

Fu quello — lo ripetiamo — un periodo d'insuccessi, ma in esso sono pure i germi di sistemi che vediamo in azione. In parte fu detto con i nomi del Green e del Bessolo, che avevano avuto l'idea della condottura aerea: aggiungiamo ora che a quello del Farmer — 1851 — e del suo costruttore Hall, come a quello — 1847 — del Lilley e del dottor Colton di Pittsburg, si collega l'altra idea dell'alimentazione del motore mediante corrente guidata ad esso per le rotaie e proveniente da una batteria collocata in una stazione fissa, non sul veicolo; a quello del Pinkus — brevetto inglese del 1840 — il concetto del valersi, non di batterie di pile, ma di generatori trasformanti in elettrica della energia meccanica.

La ragione dell'insuccesso è evidente. Alle buone idee — perchè potessero tradursi in pratica — mancavano appunto il potente generatore industriale ed il motore adatto.

Non appena questi due grandi organi dell'attività moderna — pure ben lontani dalla perfezione — apparvero su l'orizzonte, la trazione elettrica entrò in una nuova fase. E vi entrava, come già fu implicitamente accennato, con la minuscola ferrovia del Semiens del 1879.

Essa, come il motore del Jacobi, come i meccanismi che la precedettero — tolta, per disgraziate vicende, la locomotiva da cinque tonnellate che lo scozzese Davidson, ispirandosi alle esperienze del Jacobi, aveva fatto correre nel 1838 su le ferrovie del suo paese, ed a cui, a Perth, per opera di meccanici paurosi del successo come lo erano stati un giorno i battelleri del Weser, toccò la sorte del battello di Papin — essa, diciamo, è ora confinata nei musei.

Ma dal giorno in cui essa cominciò a meravigliare e divertire il pubblico, a far meditare i tecnici, da quel giorno la trazione elettrica entrò nel periodo della affermazione; ed in poco d'ora il suo espandersi non fu sviluppo, fu — si potrebbe quasi dire — esplosione. Agli Stati Uniti — ove una lite di priorità d'invenzione, tra Edison e Field e Siemens, ritardò fino al 1884 l'apertura della prima linea a trazione elettrica — quella di Cleveland nell'Ohio —, venti anni dopo erano in attività 1.187 linee per una lunghezza complessiva di circa 50.000 chilometri, con poco meno che 60.000 carri; ed in esse era investito un capitale di oltre 8,5 miliardi di lire. (1).

(1) Nel 1890 agli Stati Uniti ed al Canadà si avevano in esercizio 137 linee, della lunghezza complessiva di 1242 chilometri e con 1230 vetture: al principio del 1897 si contavano quasi 23.000 chilometri e 40 000 vetture. Alla fine del 1899 la lunghezza delle linee era di 31.952 chilometri, ed alla stessa epoca, a New-York, per trasformare in elettrica la trazione a vapore su l'*Elevated* di Manhattan, si progettava l'impianto di una Centrale della potenza di 100.000 cavalli, e si portava un aumento di 90 milioni nel capitale sociale.

In Europa alla fine del 1890 esistevano 71 chilometri di linee, servite da 140 carrozzoni: dopo sette anni si avevano 2.259 chilometri di linee e 4.514 vetture. In particolare sono interessanti le statistiche relative alla Germania ed alla Francia. In Germania all'1 settembre 1896 si avevano già 42 centri principali di trazione elettrica, 583 chilometri di linee e circa 2400 vetture: al 1° settembre 1900 cotesti numeri erano divenuti rispettivamente 99, 2868, 9956, e la potenza impiegata, da 18560 *Kilowatt*, era salita a 75.608. In Francia, mentre all'1 gennaio 1893 si avevano soli 37 chilometri di linee con 20 vetture automotrici, all'1 gennaio 1901 i chilometri e le vetture erano rispettivamente 1.486 e 2.425, richiedenti una potenza complessiva di 64 384 kw. Quanto all'Italia, sebbene la trazione elettrica avesse, su le tramvie, cominciato abbastanza presto — nel 1890, con la Firenze-Fiesole — come si rileva dalla *Relazione su l'esercizio delle tramvie italiane per l'anno 1901* pubblicata dal Ministero dei Lavori Pubblici, alla fine del secolo soli 434 chilometri di tramvia erano a trazione elettrica. Essa teneva invece il primato nella trazione elettrica su le ferrovie propriamente dette. I suoi 193 chilometri — 73, di cui 40 a doppio binario, della Milano-Varese-Porto Ceresio, con 20 automotrici 5 bagagliai, 1 locomotiva, tutti a 4 motori, e 16 automotrici a 2 motori; 106 a binario semplice della Lecco-Colico-Sondrio e Colico-Chiavenna, con 5 locomotive e 10 vetture automotrici, e 14 della Varese-Cunardo — i suoi 193 chilometri, diciamo, rappresentavano più che un terzo dei 527, a cui soltanto ammontava complessivamente il numero dei chilometri di ferrovie elettriche propriamente dette in tutta l'Europa.

Fu quasi un delirio quello che invase allora il mondo dei progettisti; fu una grande passione quella da cui vennero presi i tecnici ed il pubblico. Si pensò che la locomotiva elettrica poteva arrampicarsi su fino all'orlo del cratere del più alto vulcano del Messico — il Popocatepetl — su fino a 5400 metri — ben più alto della vetta del Bianco — e discendere nel cratere ad aiutarvi l'industria; che poteva penetrare nelle viscere della Terra; che per essa potevano scomparire le distanze in ragione di 250 chilometri all'ora.

In realtà la linea messicana — a quanto sappiamo — non fu eseguita. Questo però è noto, che la corrente elettrica porta su, a 3000 metri, al Gornergrat a contemplare le bellezze del Rosa e del Cervino; che essa trasporta merci e viaggiatori sotto le case di Baltimora e le acque del Tamigi, che è il mezzo di trasporto più comodo e più perfetto che sia oggi a disposizione dell'arte mineraria; che su la linea Zossen-Marienfelde la locomitiva elettrica alla fine del secolo XIX correva in ragione di 210 chilometri all'ora.

Fu una grande passione quella che prese tecnici e pubblico. La ferrovia elettrica divenne in breve una delle invenzioni più popolari. Ogni esposizione contava la sua: nel 1881 la vide Milano nei giardini pubblici, la vide Francorte, la vide Londra al Palazzo di Cristallo; ed in pochi anni la vedevano Bruxelles, Mosca, Anversa, Chicago, Vienna e cento altre città. Ed il *trolley* aereo si sparse per tutto il mondo; ai piedi dei minareti del Cairo e delle rupi nere e scoscese di Bergen, tra gli alberi lussureggianti di Batavia e le industri vie di Kioto; l'ultimo anno del secolo esso funzionava nella capitale stessa dell'Impero Celeste.

Di cotesto imponente sviluppo le ragioni sono da ricercarsi nei pregi speciali del sistema, quali il permettere di raggiungere grandi velocità e di vincere pendenze fortissime, l'assenza del fumo, la semplicità delle manovre, la dolcezza della messa in moto, l'assenza delle vibrazioni che si hanno nelle ordinarie locomotive per il moto alternativo dello stantuffo e per lo squilibrio del peso degli organi di trasformazione, la grande elasticità di servizio — che può basarsi su l'uso di vetture automotrici, o di treni frequenti e di mediocre portata, con comodità del pubblico e notevole profitto delle Compagnie esercenti —, la possibilità d'impiegare per essa l'energia elettrica; nè è a dimenticarsi come le locomotive elettriche, a parità di peso, sviluppino maggiore potenza di quelle a vapore (1).

Cotesti pregi non avrebbero però consentito il grande sviluppo, ove una legione di scienziati, di tecnici, d'inventori, non si fosse data a studiare i mille — e difficili, e complessi — problemi che intorno ad essa andavano sorgendo — compagni necessari del desiderio di sempre crescenti e più estese applicazioni. —

Molte delle invenzioni sorsero e — completamente, o poco meno — tramontarono: valgano d'esempio i numerosi sistemi — Lineff, Siemens e Halske, Lundel, Cirla, Westinghouse, Pollak, Diatto — di condutture sotterranee della corrente ai motori; valga d'esempio la locomotiva Heilmann recante, oltre ai motori, la stessa Centrale di produzione della corrente elettrica, e che nel

(1) Le celebri locomotive elettriche in uso dal 1895 su la *Baltimora and Ohio Railroad* pesano 90 tonnellate e sviluppano 1500 cavalli dinamici: la migliore locomotiva a vapore, per una uguale potenza, dovrebbe pesare 20 tonnellate di più.

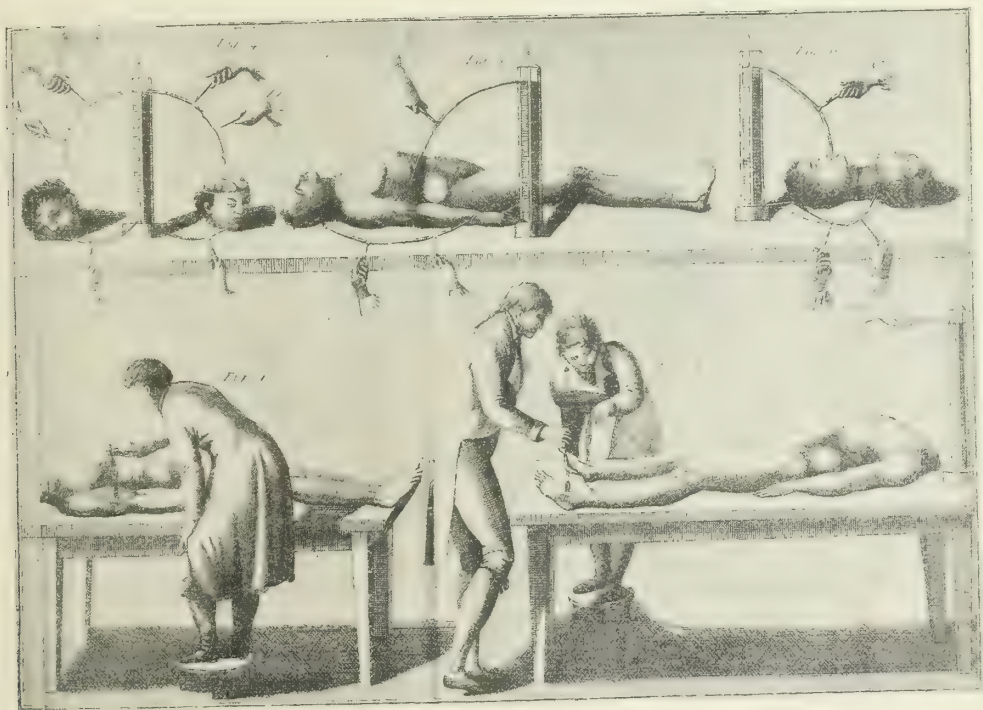
concetto dell'illustre ingegnere doveva servire alla trasformazione della trazione sulle ferrovie esistenti, da quella a vapore in quella elettrica. Ma tra le invenzioni ed i sistemi di conduttura della corrente, di costruzione, e regolazione dei motori, di disposizione delle vetture e di comando delle manovre, alcuni sono rimasti quali fondamento della nuova industria; ed i nomi che ad esse si collegano, i nomi del Van Depoele, dello Sprague, di Elihu Thomson, di Carlo Brown, della Casa Westinghouse, della Casa Ganz, rimarranno sempre come altamente benemeriti per l'importanza del contributo portato. Aggiungiamo ad essi i nomi delle due maggiori Compagnie ferroviarie nostre — quella per la *Rete Mediterranea* e quella per la *Rete Adriatica* — le quali, rispettivamente per opera degli ingegneri Vittorio Tremontani e Luigi Lanino, provvedevano a quegli impianti — su le linee varesine colla conduttura per la *terza rotaia*, e su le valtellinesi con *trolley aereo* e corrente trifase ad alto potenziale (1) — che dovevano richiamare al principio del secolo XX l'attenzione dei tecnici e dei Governi di tutto il mondo. Nè taceremo che a Milano, alla stessa epoca, si avviavano felicemente da Giorgio Finzi gli studi per applicare alla trazione elettrica il motore a corrente alternata *monofase*; il che costituiva, e costituisce, uno dei *desiderata* di essa, perchè permetterebbe l'impiego della corrente alternata, con i profitti derivanti dai suoi pregi per la trasmissione a grandi distanze e senza certi inconvenienti, quale quello della doppia linea aerea richiesta dalla trifase, che era parso tale da fare esso solo considerare questa — ancora nel 1893 — come inapplicabile alla trazione.

Riassumiamo. Nel 1881 la trazione elettrica era rappresentata, nel mondo, dai due chilometri e mezzo della Gross-Lichterfelde presso Berlino; nel 1883 il materiale rotante della principale delle sei linee — le sole, a nostra notizia — che si erano aggiunte alla Gross-Lichterfelde — quello della Charlottenburg-Spandau — era costituito da due vetture; e la domenica al servizio ritornavano i cavalli perchè le due vetture non bastavano, nè era possibile un esercizio misto. Per l'Europa — anche cotesto merita di essere ricordato — era riuscito nel 1891 di grande curiosità e del più vivo interesse per la novità il sistema a *trolley* aereo con cui funzionava la linea di poche centinaia di metri, che la Casa Schuckert di Norimberga aveva fatto costruire tra il Meno e la sede della memoranda Esposizione di Francoforte.

Ebbene, alla fine del secolo la nuova forma di trazione aveva conquistato le città e le loro adiacenze, era quasi esclusiva signora delle miniere, era molto avanzata nel dominio dei monti, aveva cominciato ad impadronirsi delle linee ferroviarie propriamente dette. È uno sviluppo che rispecchia bene la febbrile attività dell'industria moderna.

(1) Sull'importanza di cotesto esperimento di applicazione del potenziale alto alla trazione ci sia permesso ricordare un fatto assai significativo in quanto mette in luce le idee degli americani — gli uomini che non conoscono difficoltà —.

Dieci anni or sono H. Ward Leonard — parlando all'*American Institute of Electrical Engineers*, sul problema del come dovesse essere fatto l'impianto elettrico per una ferrovia che si spingesse a 100 miglia dalla Centrale, riteneva i 20.000 *volta* come potenziale da adottarsi per non superare nella linea la perdita del 20 %, e tra le prime condizioni assolute poneva quella che non se ne avessero più che 500 al *trolley*. — Ora, appunto su le linee Valtellinesi, quel potenziale di 20.000 *volta* è applicato da qualche anno, ma, quanto al *trolley*, la corrente vi giunge con una differenza di potenziale sestupla del limite massimo che assegnava dieci anni or sono l'illustre ingegnere americano.

Coteste che si sono andate sfiorando sono le maggiori applicazioni dell'elettricità: sono le più appariscenti. Ma di quante altre avremmo dovuto parlare! Di quante, che pure sono intorno a noi, dalle sonerie elettriche alle mostre che nelle strade c'indicano l'ora per gl'impulsi che i loro organi ricevono tutti — mediante la corrente — da un unico *regolatore centrale;* dagli avvisatori di ogni maniera — ferroviari, d'incendio, di sicurezza — ai telai da tessitura, agli esploditori, ai mille tipi di apparecchi registratori. Come spesso ci incontriamo nelle macchine e negli organi elettrici, quando entriamo in

Esperienze dell'Aldini eseg. a Bologna su due decapitati.
Ripr. della Tav. IV dell'ediz. orig. dell'op. dell'Aldini *Essai théor. et exp. sur le Galvanisme*, cit. pag. 548, nota 1.ª

una officina, o scendiamo in una miniera! E quante furono tentate, disparate come la macchina per quella funzione fondamentale della vita civile moderna che sta nella votazione, lo è da un apparecchio che all'uomo — a cui la scienza ha reso possibile l'ascoltare la voce lontana migliaia di chilometri da lui — consenta il vedere quanto la distanza gli sottrae allo sguardo (1)! Quante si

(1) Costantino Perskyi, nel rapporto al Congresso Internazionale di Elettricità tenutosi a Parigi nel 1900, esponeva come segue il procedimento, col quale si tenta risolvere il problema della *televisione*: « Si decompone l'immagine da trasmettersi in una infinità di punti luminosi, che, presi isolatamente, possono considerarsi come altrettante sorgenti luminose d'intensità variabile. Mediante specchi si sottopone all'azione di questi vari punti luminosi il selenio intercalato nel circuito del ricevitore dell'altra stazione, consistente in un elettromagnete attirante un'armatura che può aprire o chiudere più o meno la sorgente artificiale di luce mediante uno schermo. I raggi emessi da questa sorgente cadono su un sistema di specchi affatto simili a quelli del trasmettitore ed identicamente situati l'uno rispetto all'altro, e gli specchi trasmettitori e ricevitori sono animati di un movimento oscillatorio identico e perfettamente sincrono. Ove si richiami che la resistività del selenio è tanto più debole quanto più la illuminazione è intensa, e che, d'altro lato, l'attrazione dell'elettrocalamita è tanto più energica quanto più intensa è la corrente, si comprenderà facilmente che l'intensità luminosa della sorgente del posto di ricevimento seguirà le fluttuazioni del posto del trasmettitore. Si avranno all'arrivo tutti i punti dell'immagine da trasmettere, e se la durata di proiezione di tutti i punti elementari non oltrepassa un

tentarono, e come disparate! E quante sono avviate alla soluzione, e pur esse disparate come la navigazione lo è dall'agricoltura!

Ma la immensità stessa della materia obbliga a sorvolare; e solo per la natura loro speciale e per la importanza eccezionale che ebbero gli studi ad essi inerenti, toccheremo — di sfuggita, anche perchè la trattazione loro *ex-professo* riguarda, in questa collezione di monografie, le pubblicazioni dedicate in modo speciale alla *Fisiologia*, alla *Meteorologia* ed alla *Fisica terrestre* — delle azioni fisiologiche, dell'elettricità atmosferica, del magnetismo terrestre.

Su le azioni fisiologiche vogliamo notare anzitutto l'avidità con cui al principio del secolo XIX si operava sul cadavere umano. Ricordiamo le esperienze del Vassalli, del Giulio, e del Rossi, a Torino; quelle dell'Aldini su due decapitati a Bologna, poi a Londra — 17 gennaio 1803 — sul cadavere di Forster — un giovane assassino decapitato su la piazza di Newgate — ; dell'Ure — 4 novembre 1818, nella Sala della *Società Letteraria* di Glasgow — sul cadavere di Clydsdale, un altro assassino — (1).

Accenneremo poi alla parte cospicua che nelle ricerche ebbe la scienza italiana. Mentre all'estero, dal Nysten, dal Tourdes a Strasburgo, dal Babynghton a Londra, da Benoît Mojon e del Bonnet a Parigi, dal Davy — di cui ricorderemo la grande *Bakerian Lecture*, fatta alla *R. Soc.* di Londra il 20 novembre 1806, in cui sono prese in esame le azioni della corrente sugli organismi animali e sui vegetali — e dall'Humboldt — che, tra altro, studiava i fenomeni elettrici in una nuova specie di gimnoto da lui scoperto nel fiume della Maddalena nel Nuovo Continente; *Giorn.* del Brugnatelli, a. 1808, T. I, p. XI e XII — da quella pleiade, insomma, di primi esploratori, venendo al Becquerel che indagava gli effetti « della applicazione delle forze elettriche

decimo di secondo, si vedranno tutti cotesti punti simultaneamente. Per conseguire cotesti risultati, la velocità di oscillazione degli specchi deve essere grandissima; per esempio, per trasmettere una immagine di 10 cm. per 15 cm. mediante specchi di 0,25 mm. di larghezza, cotesta velocità è di 360.000 oscillazioni per secondo. Gli apparecchi di televisione immaginati su questo principio fino ad oggi sono quelli dei signori Nipkoff, Kachmetieff, Stchepanik, Scheffler e Poloumordvinoff. In generale, il problema della televisione potrà considerarsi come risolto, quando si possederà il mezzo di trasformare, con un processo semplice, le onde di grande lunghezza in onde molto corte, e reciprocamente ». — *Congrès Intern. d'Électr., Paris, 18-25 Août 1900. Annexes publ. par les soins de M. E. Hospitalier.* Parigi, Gauthier-Villars, 1903.

(1) Sono caratteristici — ad indicare l'avidità della ricerca degli effetti dell'elettricità della pila da cui erano animati gli scienziati di quel tempo — i due brani seguenti che togliamo dall'Aldini — *Essai Théor. et Ex. sur le Galv.*, pag 69 e 238. — Parlando delle molte esperienze — furono nientemeno che trentadue — sui decapitati di Bologna, scrive: « Quantunque io sia abituato ad un genere pacifico di esperienze nel mio gabinetto di fisica; quantunque sia lontano dall'abitudine di fare delle dissezioni anatomiche, l'amore della verità ed il desiderio di diffondere qualche luce sul sistema del galvanismo, la vinsero su tutte le mie ripugnanze ». E dopo avere riferito quelle eseguite a Londra sul cadavere del Forster: « Ora mi sia permesso d'invitare i fisiologi ad approfittare della sapienza dei governi che destinano a ricerche della più alta importanza per il bene pubblico le spoglie degli scellerati, violatori dei vincoli più sacri della natura: la legge, col colpire in siffatto modo i colpevoli, rende alla società oltraggiata dai loro delitti, tutti i servigi che si possono conseguire dai lavori e dalle meditazioni degli scienziati ». Manifestamente il punto di vista dell'Aldini non era precisamente quello del Beccaria. — Riuscirà interessante, crediamo, anche quest'altro brano, che togliamo dalla relazione delle esperienze dell'Ure sul cadavere del Clydsdale, fatta da lui stesso alla *Soc. Lett.* di Glasgow il 10 dicembre 1818, e pubblicata in *Journ. of Sc. a. Arts.* N. 12, e — in versione del Billy — in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1820, T. XIV, p. 337 a 353 — Dopo avere narrato come avesse usato una pila di 270 coppie, di 4 pollici, ed avere detto che, facendo scorrere uno dei reofori, tenuto a contatto col corpo, dalla 220.ª alla 270.ª coppia, cosicchè 50 scosse, una più forte dell'altra si erano succedute in due secondi, scrive: « Tutti i muscoli furono messi simultaneamente in azione, in una maniera spaventosa: la rabbia, l'orrore, la disperazione, l'angoscia, e dei sorrisi terrificanti unirono la loro orrida espressione su la faccia dell'assassino, sorpassando di gran lunga le rappresentazioni più spaventose di un Fusely o di un Kean. A cotesto spettacolo parecchi degli astanti dovettero abbandonare la sala a cagione dello spavento e del malessere, ed un signore svenne ».

alla fisiologia vegetale », *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1833, T. LII, p. 240, e si occupava largamente dello stesso argomento in riguardo agli organismi animali, come si rileva dal suo immortale Trattato che già citammo a pag. 206 — i sommi lavoravano cotesto campo, in Italia si preparavano a coltivarlo uomini come il Marianini, il Nobili, il Matteucci, dei quali i lavori su la elettricità animale e su gli effetti della corrente negli organismi avrebbero bastato ad immortalarne il nome.

Il Marianini, infatti — grande ed originale sperimentatore, come era apparso con il *Saggio di esperienze elettrometriche* pubblicato nel 1825 a Venezia e di cui si mostrava ammirato, parlando col Matteucci, quel difficile lodatore che fu l'Arago — comunicava nel 1827 all'Accademia di Rovereto una Memoria — riportata anche in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1829, T. XL, p. 225 a 256 — in cui su esperienze ingegnosissime e convincenti si fondava una nuova legge, che in Germania prendeva e serbava nome di *legge di Marianini* (1).

Matteucci.
Da fotog. cortes. proc. dal ch. prof. Alfonso Sella dell'Univ. di Roma.

Degli altri lavori del fisico di Venezia ci sia poi permesso dar conto con le parole di un altro grande, il Matteucci. « In una seconda Memoria di elettrofisiologia » scriveva egli — *Mem. della Soc. It. delle Scienze*, Serie III, T. I., parte I, Firenze, 1867, p. 36 — « nella quale Memoria tratta specialmente delle alternative Voltiane, fa vedere che esse dipendono dalla diminuzione di eccitabilità dei nervi, prodotta dal passaggio della corrente in una certa direzione. Tra le esperienze merita sempre di essere ricordata quella con cui Marianini ottiene la scossa all'aprire del circuito, benchè all'atto di chiudere il circuito per mezzo del dito o d'altro corpo asciutto, questa scossa non si sia ottenuta. Il Marianini si occupò più tardi di applicare i suoi studi di elettrofisiologia ad alcuni casi di paralisi, ed è forse il solo fisico che abbia studiato questo soggetto con maggiore attenzione ed ottenuto colla elettricità alcune guarigioni da quella malattia ».

Questo scriveva uno dei cultori più insigni della elettrofisiologia; al quale elogio ci pare quasi doveroso il far seguire le sobrie parole con cui il

(1) Essa consiste in ciò che la corrente elettrica, percorrendo i nervi nel senso della loro ramificazione eccita una contrazione quando entra ed una sensazione quando cessa di passare, e che al contrario quando percorre i nervi in senso inverso di quello della loro ramificazione, determina una sensazione nell' istante in cui comincia a percorrerli, una contrazione nell'istante in cui cessa. — Si è nella Memoria del 1827 che il Marianini faceva la importante distinzione tra le contrazioni — da lui chiamate *idiopatiche* — generate dall'elettricità immediatamente sui muscoli, e quelle — dette da lui *simpatiche* — prodotte sui nervi che comandano i movimenti dei muscoli; e stabiliva che le prime si hanno qualunque sia la direzione della corrente, le altre solo ove la corrente si propaghi nel senso delle ramificazioni del nervo. — Quanto agli altri lavori di cui si parla sopra, e di cui alcuni furono pubblicati anche nella *Bibl. Univ.* di Ginevra, il lettore può trovarli per esteso negli *Ann. de Ch. et de Phys* a. 1830, T XLIII, p. 320 a 324; a. 1833, T. LIV, p. 366 a 379; a. 1834, T. LVI, p. 387 a 428.

fisico di Venezia parlava di una tra quelle guarigioni — quella della giovane Contessa Fenaroli — « Pare evidente » si limitava egli a notare « che almeno una parte di questa guarigione debba essere attribuita all'uso degli elettromotori ». Quanta misura e quanta modestia!

Venendo ora al Nobili, ricorderemo come coteste azioni fisiologiche dell'elettricità erano state per lui oggetto d'interesse tutto speciale per il confronto tra la sensibilità della rana e quella del suo moltiplicatore a due aghi — pag. 201 —. Egli poi era stato condotto ad occuparsene un'altra volta anche per la importanza terapeutica di coteste azioni. « L'elettricità » scriveva egli (1) « ha avuto, nel trattamento di parecchie malattie, sì grande voga che ha potuto essere impiegata in tutte le maniere possibili ». Ed osservando che appunto perciò non era necessario « il presentare dei metodi nuovi », mirava, nel suo studio ulteriore all'esame di fatti che valessero a « dirigere la pratica medica secondo principi sicuri, anzichè » lasciare che si continuasse « ad impiegare l'elettricità in modo totalmente empirico come si era fatto » fino ad allora.

Quanto al Matteucci, i lavori di lui nella elettrofisiologia sono tanti che — per lo spazio a ciò necessario — non è nemmeno possibile, praticamente, che se ne dia qui un elenco; e sono tali che già uno dei primi era giudicato meritevole del premio di fisiologia dell'Accademia di Francia. Durante un periodo di ben trentasette anni — il che è quanto dire per l'intera durata della sua vita scientifica (2) — egli non lasciò mai cotesto ordine di ricerche, portandovi tutta l'acutezza della sua gran mente, tutto l'ardore del suo amore per la scienza. Ed al cumulo delle Memorie accademiche si aggiungevano da lui pubblicazioni speciali, quali l'*Essai sur les Phénomènes électriques des animaux* — Parigi, Carillian-Goeury, 1840 — e quelle lezioni alla Università di Pisa, a cui « assistevano diversi Professori di medicina », come riferisce il Felici.

Nè, dopo che, ottenuta nel 1840 la cattedra di fisica sperimentale alla Università di Pisa e grazie ai mezzi avuti anche per l'appoggio del Giorgini e del Buoninsegni, aveva fatto sorgere l'importante stabilimento di fisica di quel cospicuo ateneo, « si stette a riposare sugli allori acquistati ». Per tacere dei lavori eseguiti in altre branche della scienza, egli pubblicava — diremo ancora col Felici — « le sue *Nuove esperienze relative alla elettricità animale* esposte in due Memorie, l'una sullo sviluppo della elettricità nella rana e negli animali a sangue caldo, l'altra sulla scarica della torpedine: la *Memoria sulla esistenza della corrente elettrica muscolare negli animali vivi o di recente*

(1) « *Analyse exp. et théor. des phén. physiques produits par l'électricité sur la grenouille ; avec un appendice sur la nature de tétanos et de la patra ysie, et sur les moyens de traiter ces deux maladies par l'électricité* », in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1830, T. XLIV, p. 60 a 94. Il lavoro ha la data del 1 Nov. 1829.

(2) Il Matteucci nacque il 20 giugno 1811 e morì il 24 giugno 1868. Il primo lavoro di elettrofisiologia — « *Action de la pile sur les substances vivantes* », in *Ann. de Ch. et de Phys.*, a. 1830, T. XLIII, p. 256 a 258 — reca la data di Parigi il 1 aprile 1830; l'ultimo — « *Sur le pouvoir électromoteur secondaire des nerfs et ses applications à la Physiologie* » — veniva comunicato in parte nelle sedute del 22 e 29 luglio 1867 — *C. R.*, p. 151 a 156, e 194 a 200 — ed era completato con un'altra comunicazione il 23 marzo 1868 — *C.R.* p. 580 a 585 —. Dopo cotesta Memoria, che fu l'ultima nella elettrofisiologia, il Matteucci non presentò all'*Ac. d. Sc.* altra Nota, all'infuori di quella « Su la propagazione delle tempeste provenienti dall'Atlantico », comunicata nella seduta del 22 giugno 1868 — *C.R.*, p. 884 — in cui quella insigne Accademia — della quale il Matteucci era tra i pochissimi *Corrispondenti* esteri — prendeva in considerazione il nome del fisico italiano insieme a quelli del Kirchhoff, del Bunsen, dell'Agassiz, dell'Airy, del Wheatstone, per la successione ad un posto di *Associé étranger*, resosi vacante per la morte del Brewster. In quel giorno il Matteucci stava già lottando tra la vita e la morte.

uccisi, in cui si dimostra che si ha una corrente, ogni qualvolta si stabilisce con un arco conduttore una comunicazione fra l'interno di un muscolo e la sua superficie esterna: il lavoro *Sopra il fenomeno fisiologico prodotto dai muscoli in contrazione*, il quale contiene la bella scoperta della contrazione indotta ». E prosegue il Felvici: « I fisiologi conoscevano già da vari anni il fenomeno dell'elettrotono scoperto da un illustre fisico di Berlino, il Du Bois Reymond. E' il seguente. Il nervo di un animale di recente ucciso comprende il circuito del galvanometro: se si fa passare la corrente di una pila per un tratto del nervo che è fuori di quel circuito, il galvanometro indica una corrente, che percorre il nervo nel senso stesso di quella corrente voltaica. Se si altera la interna struttura del nervo, stirandolo o comprimendolo nell'acqua calda, il fenomeno non avviene più. Il Matteucci prese a studiarlo, e scoperse che si ottenevano gli stessi risultati sostituendo al nervo un filo di platino sottilissimo, e ricoperto da un doppio strato di filo di lino o di cotone, bagnato da una soluzione di solfato di zinco; anzi le correnti di elettrotono così ottenute sono molto più forti che col nervo. Questa, con altre esperienze dello stesso autore, mostra che la causa di quella corrente sta, almeno probabilmente, nei prodotti della elettrolisi generata dalla corrente voltaica, che si depongono lungo il nervo, e che sono alcalini o acidi a seconda dell'elettrode. Questa spiegazione suggerì al nostro fisico una ipotesi sulla interna struttura del nervo ».

Ma tutto cotesto non può dare che una pallida idea dell'orma lasciata dal Matteucci anche in questo campo. Da quando egli faceva le sue prime esperienze a Forlì ed a Parigi, venendo all'epoca in cui — prossimo ad avviarsi a divenire farmacista a Ravenna — faceva conoscere all'Accademia di Francia « la influenza del quarto lobo del cervello della torpedine sulla scarica dell'organo, e che tale scarica è capace di tutti gli effetti della corrente elettrica, come la scintilla, la decomposizione elettro-chimica, l'azione sul ferro dolce e sull'ago calamitato », e seguitando fino a quando già scosso profondamente nella salute studiava i fenomeni elettrotonici, sempre il Matteucci volgeva mente ed attività, con vera predilezione, alla elettrofisiologia: ed ogni suo passo segnava per la scienza una nuova conquista.

Ritornando ora al nostro rapidissimo sguardo, diremo pure che la questione della esistenza di una *elettricità animale* fu a lungo dibattuta, e, se molte esperienze s'invocarono a favore di essa i cui risultati potevano essere spiegati altrimenti, alcune del Nobili e del Matteucci, e specialmente quelle decisive del Du Bois Reymond — che otteneva correnti dalla contrazione muscolare, o riunendo due parti simmetriche del corpo — l'hanno risolta in senso affermativo.

Finalmente, su cotesto argomento, ricorderemo come la medicina abbia trovato nella elettricità un potente ausiliario. Ad essa, già sul principio del secolo, avevano dato voga speciale i lavori venuti dalle scoperte del Galvani e la invenzione della pila; così il Flower, a Londra, curava con il galvanismo il mal di denti, il Rossi a Torino l'idrofobia. Ed avevano celebrità il Culthberson come costruttore di apparecchi che oggi si direbbero di elettroterapia e — per i risultati avuti nella applicazione alla paralisia — il Mongiardini

— crediamo a Genova — il Ritter ed il Bischoff — a Jena —; l'Humboldt e l'Hanschel in quella alle affezioni reumatiche; il Grapengiesser — a Berlino — e l'Aldini — a Bologna — in malattie svariatissime. Incerta, pressochè empirica per lungo volgere di anni, essa però, grazie ad una grande copia di studi di medici e fisiologi e fisici insigni, tra i quali —oltre al Marianini, al Nobili ed al Matteucci come iniziatori del movimento — eccelle il D'Arsonval, arrivava verso il tramonto del secolo XIX a procedimenti razionali, copiosi e svariati. Così poteva costituirsi senz'altro una branca speciale della medicina, con la *Elettroterapia* — che aveva norme per applicare secondo i casi la *franklinizzazione*, o la *galvanizzazione*, o la *faradizzazione* (1) — mentre poi la chirurgia era giunta a valersi della corrente elettrica per rendere facili e sicure le più ardue operazioni di cauterizzazione ed alcune non meno ardue asportazioni di parti lese, e nella azione chimica della luce dell'arco voltaico si era trovato — scoperta che menò grande rumore — dal danese Finsen un rimedio sicuro contro quella terribile — e fino ad allora ribelle — malattia che è il *lupus*; nei *raggi del Röntgen* un mezzo di esplorazione quale nessuno avrebbe mai, nonchè osato sperare, nemmeno immaginato; nel *radio* un agente, la cui misteriosa e potente azione — se era un'incognita negli effetti — costituiva pur sempre una grande speranza.

Passando all'elettricità atmosferica non saranno a toccarsi che tre punti.

L'uno riguarda le misure su la durata del lampo — ritenuta *generalmente* inferiore al millesimo di secondo — ma che può esserne anche maggiore, giusta le osservazioni del Dufour — movimento sensibile in un disco ruotante con la velocità di 80 giri al secondo — o del Colladon — percezione di moto in una locomotiva o nelle fronde degli alberi agitate dal vento —.

Il secondo riguarda il *parafulmine*. Per esso il Padre Secchi ideava le *punte multiple* (2), mentre il belga Enrico Luigi Federico Melsens proponeva di sostituire la forma dell'asta frankliniana con un sistema di copiosi conduttori di debole sezione, muniti di punte od aste corte ma numerose, e collegati in modo da costituire circuiti chiusi, e — nell'insieme — una specie di gabbia avvilluppante l'edificio (3). Forme speciali e svariate furono ideate per la prote-

(1) Chiamano i medici *franklinizzazione* il complesso dei metodi operativi in cui si applica l'elettricità statica — quale è data da macchine a strofinio o da quelle del tipo elettroforico, ovvero accumulata nei condensatori —: sono processi di franclinizzazione l'uso del *vento elettrico* — costituente mezzo diagnostico perchè dà sensazione di caldo o di freddo secondo che si dirige su organo malato o sano —; l'*effluvio* — che può venire impiegato a migliorare, ad esempio, le condizioni dell'organo vocale; la *frizione* — opportuna, a quanto sembra, in alcune forme reumatiche —; la *commozione* — per paralisi, atonia, atrofia muscolare —; il *bagno* e la *doccia* — sperimentati con successo in anemie ed indebolimenti delle funzioni digestive —; la *corrente* — efficace nel dissolvimento di tumori —. La *galvanizzazione* è l'uso della corrente elettrica quale è fornita dai generatori primari, e che — oltre che *continua* — può essere *labile* — quando, tenendosi fisso un elettrodo, si faccia scorrere l'altro su l'organo da elettrizzare — od *intermittente* quando cotesto movimento avvenga sempre nel medesimo senso, e perciò ciascuna frizione sia separata dalla successiva per distacco brusco dell'elettrodo —. Finalmente la *faradizzazione* è processo in cui si usano le *correnti faradiche* o d'induzione, e può applicarsi — come s'intende facilmente — in modi analoghi alla franklinizzazione ed alla galvanizzazione.

(2) Ricorderemo pure come Il prof. Nazareno Borghini di Arezzo costruisca da forse un quarto di secolo delle punte multiple ad aghi sottili e numerosissimi formanti un grosso fiocco, e che, giusta le testimonianze di uomini competenti — quali il P. Bertelli, il prof. Rovelli, l'ing. F. Mannucci — fanno ottima prova.

(3) Così il Melsens descriveva il primo di quei suoi parafulmini — in una lettera al Dumas, pubbl. in *C. R. de l'Ac. d. Sc.*, a. 1865, T. LXI, p. 84 a 87 —: « Io faccio porre in questo momento su l'*Hôtel de Ville* di Bruxelles un parafulmine che non considero se non come provvisorio. Questo sistema consiste essenzialmente nel racchiudere l'edificio in una gabbia metallica, dissimulata nella anfrattuosità della muratura. Essa è composta di otto fili di ferro galvanizzato di un centimetro di diametro che si stendono lungo l' ottagono e

zione degli apparecchi telegrafici, di quelli telefonici, delle condutture elettriche per le correnti impiegate dall'industria, per le grandi *Centrali* elettriche. Per queste, tuttavia, il problema non aveva ancora avuto, alla fine del secolo, una soluzione pienamente soddisfacente, malgrado i pregi indiscutibili dei parafulmini Thomson — a *soffiatore magnetico* —, Siemens — *a corni* —, Wurtz — a bronzo con molto zinco —. Delle molte monografie scritte su l'argomento dei parafulmini ricorderemo per la loro importanza i capitoli LII, LIII e LIV del *Le Tonnerre*, opera postuma dell'Arago — *Oevr. Compl., Not. Scient.* T. I, p. 1 a 404; gli scritti numerosi di W. Snow Harris; la relazione del Gay Lussuc — 1823 — e le due del Pouillet — 1855 e 1868 — per le istruzioni che l'*Académie des Sciences* dava su la importante materia; i copiosi scritti del Melsens — la lettera al Dumas che citiamo a pag. 566 nota 3.ª; due Note inserite nei *Comptes Rendus*, T. LXXIV, a. 1872, e T. XCV, a 1882; sei Note nel *Bulletin* dell'Accademia di Bruxelles, anni 1865, 1874, 1875, 1878 e 1882; una Conferenza al Congresso degli Elettricisti di Parigi del 1881, pubblicata in *Rev. Sc.* del 20 maggio 1882; oltre al volume *Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples*, Bruxelles, Haquez, 1876 —; la comunicazione del Lodge alla *B.A.*, a Bath nel 1883, e le due conferenze del grande scienziato inglese alla *Soc. of Arts* di Londra — riassunte in *Lum. El.*, a. 1888, T. XXX; e finalmente la Memoria « *Parafulmini. Studio teorico e sperimentale* » del Murani, a cui il Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, su relazione meritamente molto lusinghiera di Giovanni Cantoni, dello Schiaparelli e del Ferrini, conferiva nel 1892 il *Gran Premio* della Istituzione Cagnola. Noteremo ancora come dopo gli studi del Lodge e del Murani si riformassero le basi della costruzione e collocazione dei parafulmini in particolare importanti, quale la sostituzione di fasci di filo o di nastri di ferro, all'unico conduttore costituente *la catena* negli impianti antichi — con vantaggio economico e maggiore sicurezza —.

Disposizioni dell'Aldini per regolare le interruzioni della corrente della pila nelle applicazioni terapeutiche.

Ripr. delle fig. 2 e 5 della Tav. VI dell'op. orig. *Essai*, ecc. più volte citata.

Legg. espl. — Le disposizioni comprendono un interrutore a rotismo di orologeria ed un interruttore a molinello messo in moto dall'aria calda ascendente dal tubo di una lampada.

senza soluzione di continuità fino ad una piccola distanza dal suolo. Cotesti conduttori sono resi solidali ad ogni piano; essi sono messi in comunicazione con le parti metalliche dell'edificio *in modo da ottenere sempre dei circuiti metallici chiusi*. Delle derivazioni fissate ai conduttori principali si portano su le piccole torrette decoranti l'edificio, e la punta delle torrette è munita di un pennacchio. I conduttori sono multipli, e le punte in gran numero: l'aguglia e l'edificio costituiranno un immenso pennacchio, ove si prosegua il lavoro secondo i miei piani. Gli otto conduttori, arrivati presso il suolo, si portano in un piccolo serbatoio in ghisa, in fondo al quale vi sono tre serie di otto fili di ferro galvanizzato dello stesso diametro, l'insieme dei quali ha una sezione equivalente a tre volte quella degli otto conduttori. La prima serie va ad un pozzo, la seconda comunica coi condotti di distribuzione dell'acqua potabile; la terza coi tubi del gas. I conduttori e le tre serie sotterranee sono fissati con zinco fuso ».

Su gli accennati lavori del Lodge, poi, sarà a notarsi come essi si colleghino con idee nuove, le quali si andavano introducendo nel modo di considerare la propagazione delle correnti elettriche alternanti, o di carattere oscillatorio; idee che dovevano diventare in breve uno dei cardini, non solo della scienza pura, ma anche della elettrotecnica; idee, per ciò, tanto importanti, che non potrebbero assolutamente passarsi sotto silenzio.

Erano esse scaturite dalle teorie del Maxwell, ed avevano fatto la loro apparizione con quel teorema del Poynting a cui già fu accennato — pag. 432. — Quasi contemporaneamente le formulava Oliviero Heaviside, sul bel principio di quello studio importantissimo — « *Electromagnetic Induction and its Propagation* » — che, cominciato nei primi numeri del *The Electrician* del 1885, si protraeva poi per parecchi volumi dell'importante periodico londinese. Da quegli studi — con cui metteremo quelli affini di lord Rayleigh del 1886 — rimaneva assodato come i conduttori — per effetto della loro autoinduzione — oppongano alle correnti variabili una resistenza maggiore che non alle correnti costanti o — come sogliono chiamarsi — continue; resistenza, che la legge dell'Ohm insegna a calcolare. L'Heaviside, anzi — *The Electrician*, 17 giugno 1887, T. XIX, p. 124 — aveva proposto il nome, rimasto poi, di *impedenza* « ad indicare il rapporto della forza al flusso nel caso molto importante della corrente sinusoidale », come quello di *resistenza* dinota l'analogo rapporto nel caso della corrente costante.

Conseguenza della scoperta di cotesto comportamento dei conduttori rispetto alle correnti variabili era una rivoluzione nelle idee che si avevano su la conduttività dei diversi metalli.

Che coteste idee dovessero modificarsi in alcuni casi, era andato predicando da anni il Melsens.

Egli infatti, fino dal 1865, nella lettera al Dumas già ricordata, aveva scritto: « A proposito dei parafulmini si può chiedersi se la conducibilità relativa del rame e del ferro per la scintilla sia rappresentata dal rapporto delle conduttività per le correnti, vale a dire $^1/_{15}$, od anche, come si ammette praticamente, $^1/_7$. Se cotesto rapporto fosse vero, parrebbe che una scintilla unica alla quale si presentasse un conduttore biforcato composto di rame e di ferro, dovrebbe sempre passare per il rame ». Ed invece egli, adottando speciali disposizioni, aveva osservato « che in molti casi è il ferro che viene ad essere attraversato dalla scintilla ».

La osservazione capitale del Melsens era basata su una quantità di esperienze — *Bull.* dell'Acc. di Bruxelles, a. 1865, T. XX, p. 15 a 34 — molto ingegnose e concludenti, meritevoli di ammirazione ove si consideri lo stato della scienza a quell'epoca — specialmente di fronte alla legge dell'Ohm, la quale, dopo avere fruttato amarezze al grande matematico, aveva conquistato fede inconcussa universale —. Ma quella osservazione dello scienziato belga, malgrado che egli continuasse a pubblicare esperienze e fatti a conferma, era sempre rimasta lettera morta; e lettera morta erano rimaste quelle idee non solo in generale per gli scienziati, ma anche per coloro stessi che si occupavano dei parafulmini.

A giustificarle venivano i lavori ricordati del Poynting, dell'Heaviside,

del Rayleigh, insieme al fatto — questo, già a quell'epoca di patrimonio comune — del potere, la scarica elettrica, avere il carattere oscillatorio.

È tra le benemerenze grandi del Lodge quella che gli va tributata per l'essere egli entrato subito nel nuovo campo di fatti e di ricerche; campo che nella di lui mente abbracciava la produzione delle onde elettriche a periodo di ordine vicino quanto più fosse possibile a quello delle onde luminose, ed insieme i fenomeni delle scariche oscillatorie — la cui interpretazione improntava alle nuove dottrine — nonchè il modo di comportarsi rispetto ad esse degli ordinari conduttori.

Frutto di cotesta seconda fase della vita scientifica del grande fisico inglese furono — con altri — una tra le serie più belle di esperienze che registri la storia della scienza e la rivoluzione da lui portata nella teoria e nei criteri costruttivi dei parafulmini; episodio — non meno notevole — fu la discussione da lui provocata alla Riunione di Bath — 1888 — dell'*Associazione Britannica*; discussione memoranda, su la quale diremo — a conclusione di questo cenno circa i lavori compiuti intorno ai parafulmini — come la opposizione non valesse ad impedire che gli studi del Melsens e del Lodge, dei quali fu continuatore cospicuo ed autorevole il Murani, portassero ad una riforma radicale nel tipo e nei materiali dell'interessante e prezioso organo di prevenzione e di difesa.

Il terzo punto che dovevamo toccare su l'elettricità atmosferica è relativo agli studi su le cause e le variazioni di essa. Anche qui si tratta — può dirsi — di tale una copia di lavori che vi sarebbe quasi di che formarne una biblioteca. Dal loro insieme, specialmente da quelli, che, coi moderni istrumenti e metodi perfezionati e squisiti, e secondo i risultati della larga discussione seguita alla Conferenza di Parigi del 1884 — V. Relazione del Roiti, in *N. Cim.*, a 1884, T. XVI, pag. 16 e seg. — si andarono istituendo in numerose stazioni sparse su tutta la superficie della Terra mediante osservazioni metodiche, nonchè da quelli eseguiti nelle alte regioni dell'atmosfera — mediante ascensioni aerostatiche, o negli osservatorî di montagna e su la Torre Eiffel —; dall'insieme, diciamo, del copioso ed accurato materiale che si andò accumulando, pare che lo spiraglio di luce cominciasse a farsi, sul finire del secolo, intorno all'andamento diurno ed annuo del potenziale atmosferico ed alle loro variazioni — meno sentite nelle regioni alte che non nelle basse, forse, come osservano l'Arrhenius e quei veri specialisti che sono l'Elster ed il Geitel, a motivo di un' azione scaricatrice delle radiazioni ultra-violette —.

L'ultimo argomento nostro sarà il magnetismo terrestre; argomento, al quale sono interessate la Navigazione e la Fisica, la Geologia e l'Astronomia, la Geografia e la Meteorologia; argomento — per la copia di osservazioni e di studi — di vastità pari a quello dell'elettricità atmosferica.

Su la storia di cotesta branca di osservazioni e di studi — per le ragioni tante volte ripetute — dovremmo sorvolare completamente. Ma essa presenta un fatto tanto grandioso che non può essere taciuto.

Si tratta dell'impulso che gli studi sul magnetismo terrestre ebbero nella prima metà del secolo ad opera segnatamente dell'Humboldt, del Gauss, del

Weber in Germania; dell'Hansteen in Scandinavia; del Kraft, del Fuss e del Kuppfer nell'Impero Russo; del Carlini in Italia; del Biot, del Poisson, dell'Arago in Francia; del Bonnycastle nell'America; di una schiera numerosa di fisici e di ufficiali di marina — tra cui nomineremo il Barlow, il Sabine, lo Scoresby, il Foster, il Ross, il Flinders, il Lloyd — in Inghilterra.

È lo ripetiamo, un fatto grandioso.

L'Humboldt, al ritorno dai celebri viaggi in America — 1799-1804 —, non solo aveva perfezionato col Gay Lussac — 1805-1806 — le misure della intensità col sostituire l'ago di declinazione a quello di inclinazione nel metodo delle oscillazioni — ideato dal Borda nel 1785 —; non solo — 1806 e 1807 — aveva preso ad esaminare accuratamente l'andamento diurno dell'ago; non solo, con le sue diligenti osservazioni, aveva posto — per dirla col Barlow — il fondamento delle cognizioni scientifiche sul magnetismo terrestre; non solo — 1827 — aveva stabilito a Berlino un vero e proprio padiglione magnetico; ma aveva ottenuto — MASCART, *Traité de. Magn. Terr.*, Parigi, Gauthier-Villars, 1900 — che l'Accademia di Pietroburgo facesse creare stazioni analoghe a Pietroburgo, Kasan, Mosca, Barnaoul, Nertschinsk, Nicolajef, Pechino; e, dopo un esperimento — 20 e 21 marzo 1834 — di osservazioni simultanee prestabilite, di cinque in cinque minuti, — dell'Humboldt a Berlino e del Gauss a Gottinga — indirizzava nel 1836 al Presidente della *Royal Society* di Londra una celebre lettera, su la quale il Christie e l'Airy facevano una importantissima relazione nel giugno 1836 — *Abstracts of the Pap. print. in the Phil. Trans.*, Vol. III, p. 418 a 428 — nella quale lettera l'Humboldt invocava l'aiuto di quella insigne società per estendere il piano delle ricerche con osservazioni simultanee della declinazione, inclinazione, ed intensità, imprimendo un impulso veramente imponente al movimento che si era andato producendo nel mondo scientifico.

Lasciando fatti spiegabili per l'avere la Società Reale accolto le idee dell'Humboldt — quale, ad esempio, la creazione a Greenwich di un osservatorio magnetico « in posizione tanto lontana da riuscire sicuramente al riparo da qualsiasi perturbazione esterna » , come dice il rapporto presidenziale del 30 novembre 1837 — siano prova di cotesto impulso l'avere perfino un Rajah — quello di Trevancore — provveduto a stabilire — a Trevandrum — un osservatorio, e le numerose ed accurate serie di osservazioni simultanee che si trovano nelle pubblicazioni scientifiche dell'epoca. Durante sei anni — 1836-1841 — a Dublino, Greenwich, Upsala, Stoccolma, Copenhaghen, Pietroburgo, Gottinga, Lipsia, Praga, Cracovia, Berlino, Bruxelles, Parigi, Ginevra, Milano, ed in parecchi altri centri, si attese ad osservare la declinazione e la intensità del magnetismo terrestre nella direzione orizzontale — *componente orizzontale* — due volte al giorno — alle 8 del mattino ed all'1 del pomeriggio, ore vicine al minimo ed al massimo —, a fare osservazioni di ora in ora per ventiquattro ore continue in sei giorni dell'anno prestabiliti, e di cinque in cinque minuti durante due giorni supplementari.

Il Gauss ed il Weber, oltre all'azione di capitale importanza che esercitavano con i loro studi teorici e con la invenzione di nuovi istrumenti e metodi di osservazione, fondavano allora una vera pubblicazione periodica —

Resultate aus den Beobach. des Magn. Ver. — in cui dal 1836 al 1841 pubblicavano e discutevano i risultati di quelle osservazioni.

E mentre la *East India Co.* andava comunicando alla Società Reale di Londra le osservazioni — Note del 16 dicembre 1841, 3 febbraio, 21 aprile, 16 giugno 1842, ecc. — eseguite negli osservatorî magnetici di Madras, Simla, e Singapore; od il Caldecott — 16 giugno 1842, ecc. — quelle che egli aveva compiuto a Trevandrum, ed il Gillies dell'*U. S. Service* — com. 26 gennaio 1843 — le osservazioni fatte a Washington, cominciavano a funzionare — organizzate dalla stessa Società Reale, su proposta del Lloyd e del Sabine — le *stazioni coloniali* — a Toronto nel Canadà, ad Hobartown nel Van Diemen, al Capo ed all'Isola di S. Elena — che dal 1841 al 1848 proseguivano — non sempre per altro con regolarità assoluta — le osservazioni sul variare dei tre elementi principali del magnetismo terrestre.

Intanto che l'Humboldt lavorava a preparare questo movimento, ad osservare, a perfezionare, il Biot, sottoponendo i fatti al calcolo matematico, riduceva le osservazioni a principî definiti; ed alla teoria del grande magnete terrestre del Gilbert che usciva attendibile dal calcolo portavano argomenti i lavori del Kraft a Pietroburgo.

Senonchè la Terra risultava diversa da un magnete permanente qualsiasi; ed il Barlow — per il primo, nel 1829 — studiava le leggi del magnetismo in una sfera; e dai suoi studi, come da quelli di Carlo Bonnycastle, professore all'Università della Virginia, come dalle *Geometrical Investigations* di Thomas Sthephens Davies dell'Accademia Militare di Woolwich, come dai lavori matematici insigni del Poisson e dalle esperienze ed elucubrazioni dell'Ampère, la teoria del magnetismo terrestre veniva consolidata ed acquistava organismo di scienza.

Su la importanza della prima metà del secolo XIX nella storia del magnetismo terrestre, pur sorvolando su una quantità di cose anche molto notevoli, dobbiamo tuttavia mettere in rilievo un altro fatto.

« La scienza del magnetismo » diceva il Comandante Giacomo Clark Ross alla *Royal Society* nella seduta del 19 dicembre 1833, quando comunicava la scoperta del polo magnetico Nord della Terra, « è eminentemente inglese. Non vi è altro paese nel mondo, di cui interessi e gloria siano così profondamente legati con essa, come lo sono per la Gran Brettagna ».

Ed appunto per ciò — è questo il fatto a cui alludiamo — a quella importanza contribuivano in modo cospicuo gli inglesi.

Valga il vero. Al Sabine dobbiamo notizie — 1819 — su la declinazione, inclinazione, intensità, allo Stretto di Davis ed alla Baia di Baffin, raccolte nel primo *Viaggio alla ricerca del passaggio del N. E.*; determinazioni — agosto 1821 — al *Regent's Park* di Londra, con aghi fatti dal Dollond — sul principio di quelli del prof. Mayer di Gottinga — suggerite dalla considerazione dello stato d'imperfezione in cui si trovavano in generale gli istrumenti impiegati; altre — 1828 — a Londra ed a Parigi con aghi del Dollond e con altri che l'Hansteen aveva mandato da Christiania perchè fossero impiegati in diverse stazioni della Gran Brettagna — il che avevano fatto ad Edimburgo l'Hall e Roberto Craigie —; ed altre ancora — 1829 — su

la inclinazione in Londra; quelle *Contributions to Terrestrial Magnetism* — com. alla *R. Soc.* nel marzo 1840, febbraio 1841, gennaio 1842 — in cui erano prese in esame e rese materiale vivo le osservazioni fatte dal Dunlop del Paramatta Observatory in un viaggio dall'Inghilterra alla Nuova Galles del Sud, dal Sullivan in un viaggio pure dall'Inghilterra alle Isole Falkland, da Fitz Roy, Bethune, Wickam su le coste australiane, dal Belcher e dagli ufficiali del *Sulphur* in ventinove stazioni costiere occidentali dell'America, dall'*Erebus* e dal *Terror* nel viaggio dall'Inghilterra alle Kerguelen; sopra tutto la pubblicazione e discussione delle osservazioni delle *stazioni coloniali* in una serie di volumi, di cui il Mascart diceva che « formano un vero monumento scientifico ».

Al Parry ed al Foster — *Phil. Trans.*, a 1826 Parte IV, p. 71, 73, 118, 126, 177 — osservazioni importantissime sulla declinazione, inclinazione, componente orizzontale, nell'America Artica — Whale Fish Islands nello Stretto di Davis, Port Bowen, e differenti stazioni entro il Circolo Polare — durante il 1824 e 1825; al Foster — *Phil. Trans.*, *l. c.*, p. 129 e 188; a. 1828, p. 303 — esperimenti a Port Bowen sulle variazioni di posizione dell'ago di declinazione sotto l'azione di una forza direttrice, secondo idee del Christie; la ripetizione, pure a Port Bowen, degli esperimenti del Christie a cui fu accennato — p. 442 — a proposito del magnetismo di rotazione; osservazioni di declinazione e d'intensità allo Spitzberg.

Al Comandante Belcher — spedizione dell'*Etna* — lo studio dell'intensità su le coste dell'Africa — 1827 e 1832 — ed a Giorgio Fisher analoghe determinazioni, pure nel 1827 e 1832, a Londra, Lisbona, Gibilterra, Malta, Siracusa, Catania, Messina, Napoli, Costantinopoli, Atene, e nel 1831, 32 e 33 nelle Indie Occidentali e nell'America del Nord.

Di Giacomo Clark Ross è noto come — « *On the Position of the North Magnetic Pole* » in *Phil. Trans.* a 1834, Parte I, p. 47 a 52 — scoprisse nel giugno 1831 il polo magnetico Nord della Terra (1) e compisse — 1839-43 —

(1) Ecco come il grande navigatore — nella comunicazione citata sopra, letta alla *R. Soc.* nella tornata del 19 dicembre 1833 — narra la scoperta del polo magnetico settentrionale della Terra. « Le osservazioni al N.W. del polo magnetico fatte dal Capitano Sabine, al S.W. dal Cap. Franklin, al S.E e N.E dal Cap. Parry, da M. Fisher, e dal Cap. Forster (*sic*), fornirono materiali con cui i fisici inglesi poterono, con un grado meraviglioso di precisione, indicare la sede della convergenza magnetica — *magnetic concentricity* —. Nel disporre l'equipaggiamento dell'ultima spedizione, era stato considerato in prevenzione un avvicinamento, alla misteriosa macchia, maggiore di quello raggiunto fino ad allora... Solo tre volte, ci si era presentata l'opportunità di osservare l'inclinazione nel procedere verso il sud di Fury Point, gli ultimi quartieri d'inverno: ma esse, insieme alla declinrzione, erano state un'importante sussidio nel chiamare la nostra attenzione sul rapido avvicinarsi che noi facevamo al polo magnetico. Una serie di osservazioni durante l'inverno ce lo indicava nella direzione verso Ponente; ma... la distanza, secondo ci risultava dal calcolo, superava quanto avremmo potuto sperare di percorrere in una regione, le cui aspre spiagge sembravano distruggere ogni speranza in proposito.. Parve tuttavia che avremmo potuto fare delle osservazioni magnetiche interessanti: spinto a passare un' altro inverno presso la stessa macchia, stabilii una spedizione, guidata da alcuni Eschimesi, attraverso la regione dal lato di ponente, deciso ad avvicinarmi il più che possibile alla sorgente del magnetismo. In relazione a ciò intraprendemmo il viaggio a mezzo il maggio 1831; ma la ostilità della stagione tolse di fare qualsiasi osservazione utile prima che avessimo raggiunto le sponde del *Western Ocean* il 28 del mese. Ivi si fecero buone osservazioni in circostanze molto favorevoli; ed essendo cresciuta fino a 89° 41° l'inclinazione, e l'ago orizzontale dirigendosi a N. 57°. W., fummo indotti a ritenere che in quella direzione, alla distanza di circa trentacinque miglia, avremmo conseguito il compimento dei nostri voti... Raggiunta il 1 di giugno la località calcolata, senza avere potuto, per il maltempo, fare altre osservazioni, mi valsi, quale osservatorio, delle capanne di neve di un villaggio d'Eschimesi abbandonato di recente, ed accampai la spedizione abbastanza lontano per avere la certezza che era eliminata ogni possibilità di influenza negli aghi, ecc. La mia attenzione fu anzitutto rivolta a stabilire, se possibile, la direzione del meridiano magnetico. Sospesi perciò, l'ago che era

un'altra classica spedizione nelle regioni antartiche, riportando larga messe di osservazioni magnetiche importanti, eseguite, sia a bordo dell'*Erebus* e del *Terror*, sia all'Osservatorio magnetico della Terra di Van Diemen, sia in altre località.

Di fianco a cotesto genere di contributo — del quale potremmo recare molti altri esempi, ove i già dati non bastassero allo scopo — è a mettersi — parliamo sempre della scienza inglese — tutta un'altra categoria di ricerche, della quale pure recheremo qualche saggio notevole.

Sono le investigazioni del Barlow — 1823 — sul modo di rendere più sensibili le variazioni del magnetismo terrestre, e — 1831 e 1833 — le di lui celebri monografie « su le origini probabili del magnetismo terrestre » e « su la situazione attuale delle linee di uguale variazione e su le loro mutazioni alla superficie della Terra ».

Sono gli studi del Christie — 1823 — su le idee del Barlow, e gli altri — 1825, 1826, 1828 — su le relazioni tra le radiazioni solari e l'andamento dell'ago, o — 1827 — su la teoria della declinazione in relazione alla scoperta delle correnti termoelettriche, fatta dal Seebeck — V. p. 199 —.

Sono infine le Memorie del Flinders — 1805 — e dello Scoresby — 1819 — per le quali si andava ponendo sul tappeto un altro ordine di studî, che dava luogo a lavori del Barlow, del cap. Wilson, del Johnson, dell'Airy, ed era la base di perfezionamenti cospicui nella scienza della navigazione.

Tutto cotesto dovevamo notare per mettere in rilievo la importanza storica della prima metà del secolo e la parte avuta dalla Gran Brettagna.

Fu conseguenza di tutto quel lavorio l'essere, osservazioni e studi sul magnetismo terrestre, venuti costituendo nella scienza una vera branca, e l'essere entrato universalmente nella coscienza dei fisici il concetto che a quelle osservazioni ed a quegli studi dovevasi dare ogni cura.

Si andarono, così, aumentando gli osservatorî magnetici propriamente detti; ovvero si fecero entrare le osservazioni magnetiche nel lavoro ordinario di quelli astronomici (1) o meteorologici; ovvero anche si effettuarono campagne di esplorazione delle nostre stesse regioni — come fece per l'Italia il Chistoni, con molto utile di codesti studi. — Inoltre le indagini sul magnetismo terrestre entrarono, ove appena era possibile, a far parte dei programmi di lavoro per le spedizioni scientifiche.

Su quest'ultimo punto, un nome merita di essere ricordato con grande onore: quello di Carlo Weyprecht — il glorioso compagno del Payer nella

stato usato solo per la determinazione dell'intensità, orizzontalmente mediante tre o quattro delicati fili di bozzolo. Esso, in qualunque maniera, rimaneva nella esatta posizione in cui veniva collocato. Si usò allora un solo filo di bozzolo, ed in fine uno semplice di lino. Siccome tutto cotesto mostrava il piccolo valore della attrazione orizzontale, si operò alla stessa maniera su di un secondo ago, e con uguale insuccesso. Essendo la testa dell'istrumento costrutta in modo da permettere una torsione di mezzo giro, si provò anche questa; ma l'ago si scostò dalla sua posizione pressochè della stessa quantità di cui era stato spostato il punto di sospensione, mostrando così che quella piccola torsione bastava a vincere la forza direttice dell'ago. Si rimosse poi l'ago dell'apparato d'inclinazione, e si fecero osservazioni della intensità verticale...: il risultato medio delle due ultime serie» per l'inclinazione « fu di 89°. 58'. 15''... Le osservazioni su la intensità della forza magnetica ed i vari esperimenti fatti... occuparono tutto il tempo che potei dedicare allo scopo ».

(1) All'Osservatorio Astronomico di Brera, ad esempio, si fanno giornalmente osservazioni di variazione degli elementi del magnetismo terrestre, a proposito delle quali è doveroso il ricordare il nome di Michele Rajna, che, prima di assumere la cattedra di astronomia alla Università di Bologna, attese ad esse per molti anni in modo da darne una serie lunga ed assai pregiata.

drammatica spedizione a cui si deve la scoperta della Terra di Francesco Giuseppe —. L'illustre ufficiale della Marina Austriaca, infatti, si adoperava con tutte le forze ad ottenere il concorso delle differenti nazioni in una impresa comune, avente per oggetto principale la organizzazione di osservazioni simultanee nelle regioni polari durante almeno un anno.

La proposta, vivamente raccomandata dal Congresso Internazionale di Meteorologia riunitosi in Roma nel 1879, dava luogo alla formazione di una *Commissione polare internazionale*, la quale redigeva un programma generale di lavori, acciò essi avessero carattere di uniformità.

« Osservatorî temporanei » così il Mascart riassume gli effetti pratici derivati dalla iniziativa del Weyprecht « furono impiantati nel 1882 e 1883 alle stazioni seguenti : Capo Barrow , Baia di Lady Franklin , Fort Rae e Kinguafjord (golfo di Cumberland), al nord del continente americano ; isola di Jan-Mayen, Capo Thordsen (Spitzberg); Nuova Zembla; Godthaab (Groenlandia) ; Bossekop, Sodankyla, al nord della Scandinavia ; Dickson-Haven , imboccatura della Lena, al nord della Siberia ; isola di Georgia e Capo Horn, nei mari del Sud. Le osservazioni furono fatte di ora in ora agli apparecchi per lo studio delle variazioni, con letture più frequenti in certi giorni fissi. La missione francese del capo Horn era munita di apparecchi registratori » (1).

Da ultimo accenniamo, di passaggio, alla moltitudine di lavori — indipendentemente dalle numerose osservazioni, divenute anche metodiche — su le aurore polari.

Dall'Arago — appassionato cultore pure di cotesto argomento, e che nel 1818 scopriva l'influenza dell'aurora boreale su l'ago magnetico anche in luoghi in cui essa non è visibile — e dal Matteucci — che notava la coincidenza dell'aurora boreale del 27 ottobre 1848 con perturbazioni su le linee telegrafiche —; dal Peltier e dal De la Rive — ideatori della teoria secondo cui il superbo fenomeno sarebbe da attribuirsi a correnti elettriche — venendo al Groeneman — ultimo sostenitore dell'ipotesi dell'essere esso dovuto a polvere cosmica vagante nello spazio ed attratta dal nostro globo —, al Rand Capron, al Fritz, all'Edlund, al Loomis, al Paulsen, al Tromholt, si trova una schiera di studiosi che sperimentalmente od analiticamente hanno cercato di dar ragione del fenomeno e delle sue mille modalità. Tra essi occupa un posto eminente Selim Lemström — da poco rapito alla scienza che tanto gli deve in questo ordine di ricerche —: è al Lemström, alle sue esperienze, alle sue osservazioni, alle sue campagne scientifiche fatte di proposito nelle regioni artiche, che si deve la teoria — forse la più probabile — secondo la quale l'aurora polare sarebbe effetto di correnti elettriche atmosferiche discendenti, orientantisi per cause complesse, tra cui il magnetismo terrestre.

Facendoci finalmente a sintetizzare i risultati ottenuti nel secolo XIX, diremo che — se mancava ancora, al declinare di esso, come osservava il Mascart, « un'insieme completo di osservazioni continue, con metodi che ne assicurino l'esattezza, e sopra tutto una rete di stazioni permanenti su una gran parte del globo, su la quale non si posseggono fino ad ora che rare osservazioni isolate » — essi valsero tuttavia a determinare la posizione del polo

(1) Mascart, *Tr. de Magnetisme Terrestre*, Parigi, Gauthier-Villars, 1900, p. 235.

Nord della grande calamita terrestre, e ad indicare con una certa approssimazione la posizione di quello Sud — che veniva determinata più tardi dalla spedizione della *Belgica*; — a rivelare la esistenza di veri poli secondari in alcune — poche — località; a permettere il tracciamento delle linee di *uguale declinazione*, di *uguale inclinazione*, di *uguale intensità*, e di *uguale anomalia* rispetto alla latitudine del luogo, per tutta la superficie della Terra; a mettere in luce una relazione tra l'andamento del magnetismo terrestre ed il periodo undecennale delle macchie solari; a stabilire le perturbazioni che le eclissi portano negli elementi del magnetismo terrestre; — invano, per insufficenza di mezzi, ricercate per lunga serie di anni; dimostrate finalmente dalle osservazioni della eclisse parziale lunare del 12 maggio 1892 fatte da Cicèra all'Osservatorio di Manilla, e della eclisse totale solare del 28 maggio 1900, eseguite da Bauer ed altri in diverse località degli Stati Uniti —; ad accertare infine la natura elettromagnetica delle aurore polari (1). Risultati, cotesti, nei quali ebbero una parte notevole i perfezionamenti conseguiti nell' impianto degli osservatorî magnetici — tra cui cospicui quelli di Kew presso Londra, di Pawlowsk presso Pietroburgo, di Parc S. Maur presso Parigi — nonchè la comodità e squisitezza di istrumenti trasportabili di misura — quali i teodoliti magnetici del Lamont, del Brunner, del Meyerstand, del Neumayer, del Wild, o gli altri istrumenti usati nella marina (2) — ed insieme la molteplicità ed importanza — nonchè lo spirito illuminato — delle spedizioni scientifiche, sia a scopo di osservazione di fenomeni astronomici cospicui — eclissi totali di Sole ed i due *passaggi* di Venere, sul disco solare, del 1874 e 1882 — sia a scopo di esplorazione geografica. Tra le quali ultime occupano posto importantissimo, anche per le osservazioni magnetiche, quelle polari del Nansen (3) e del Duca degli Abruzzi.

E' doveroso anzi — e caro per un italiano — il ricordare come l'osservatorio magnetico più settentrionale del mondo che abbia mai funzionato per un periodo di tempo relativamente riflessibile, recasse la nostra bandiera: fu quello che — proprio sul finire del secolo, nel 1899 e 1900 — sorgeva nella estrema Terra del Principe Rodolfo durante il soggiorno di S. A. R. Luigi di Savoia e per volere di Lui (4).

(1) Nella impossibilità di fare di più, indicheremo ai lettori alcune pubblicazioni, dove si trovano notizie ampie e lavori sul magnetismo terrestre: GAUSS, *Werke*, T. V — 17 monografie, oltre le minori; tra le prime quella su le misure assolute citata a pag. 509, e l'*Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* —; *Philosoph. Transactions* — moltissimi tomi. — ARAGO, *Oevr. Compl*, T. IV; I delle Notizie Scientif. — ediz. più volte citata p. 459 a 545 —; i trattati, pure più volte citati, del BIOT e del BECQUEREL; HANSTEEN, *Untersuch. üb. d. Magnetismus der Erde,* Cristiania, 1819; BARLOW, *Encyclopaedia Metropolitana mixed Sciences*, T I, Londra, 1845; E. WALKER, *Terrestrial and Cosmical Magnetism;* MASCART, *Traité du Magnetisme terrestre*, già cit. — segnatamente al Capitolo X —; l'eccellente periodico *Terrestrial Magnetism and Atm. Electr.* che si pubblica dal 1897 a Chicago; il fascicolo del Neumayer — *Erdmagnetismus* nel *Physikalischer Atlas* del Berghaus — Gotha, Perthes, 1892.

(2) Veggansi per questi gli eccellenti volumi: PASQUALE LEONARDI CATTOLICA, *Trattato di Navigazione* — Livorno, Giusti, 1890 — ed *Handbuch der Nautischen Instrumente*, II edizione, Berlino, Mittle und Sohn, 1890.

(3) Nella celebre spedizione del *Fram* furono compiute — tra il 1 agosto 1893 e l'8 luglio 1896 — 225 osservazioni, tra le quali la più settentrionale — 19 novembre 1895 — fu fatta alla latitudine di 85°. 52′ N. — longitudine 64°. 47′ E. — e fu una osservazione d'inclinazione — che fu trovata di 84°. 14′ —. In tutta la spedizione tre sole osservazioni, però, abbracciarono tanto la declinazione, quanto la inclinazione e la componente orizzontale della forza magnetica terrestre, e sono la 2.ª — 8 agosto 1893 — la 152.ª e la 179.ª — 6 settembre e 30 novembre 1895 —. I particolari delle osservazioni magnetiche di quella spedizione formano la settima Memoria — seconda del Vol. II — dell'opera *The Norwegian North Polar Expedition*, 1893-96, *Scientific Results edited by* FRIDTJOF NANSEN, già citata altrove; ed ha per titolo: AKSEL S. STEEN, *Terrestrial Magnetism.*

(4) Le osservazioni magnetiche fatte alla Terra del Principe Rodolfo — dal Comandante Umberto Cagni, — incominciate il 22 agosto 1899, si dovettero sospendere verso la fine di ottobre a motivo della temperatura

La letteratura della Fisica. Conclusione.

Siamo omai al termine.

Ma innanzi conchiudere, dobbiamo ancora accennare alla letteratura della Scienza.

Quale mole di pubblicazioni rimanga a monumento dell'attività dei fisici del secolo XIX, non è facile l' immaginare. Sono innumerevoli monografie costituenti parte cospicua di pubblicazioni accademiche e di periodici; sono le molte opere che hanno rinnovato le basi della scienza; sono i volumi in cui la tecnica riceveva le norme perchè il progresso nella speculazione ed i risultati dell'esperimento divenissero perfezionamento nelle mille applicazioni; sono trattati intesi al coordinamento delle cognizioni, e — con ciò — alla esposizione metodica della scienza od alla sua volgarizzazione. Sono migliaia e migliaia di volumetti come quelle *Actualités scientifiques*, del Moigno, nelle quali sfilano davanti al lettore i nomi del Colson e del Sainte-Claire Deville, del Tyndall e dell'Angot, del Kelvin e del Siemens, o gli altri della Collezione dei *Manuali Hoepli*, nei quali si trovano, tra i compilatori od i traduttori, il Balfour Stewart ed il Ferrini, il Garbasso ed il Murani, lo Jona e lo Jenkin. Sono gl'infiniti lavori del tipo di quelli, in cui il Kelvin non credeva indegno di chi col Tait aveva pubblicato il *Treatise on Natural Philosophy*, il volgarizzare le teorie sulla costituzione della materia; il Tyndall rendeva affascinanti per il pubblico quelle dei fenomeni del suono, della luce, del calore, della elettricità; il Ferraris parlava popolarmente del telefono di Graham Bell; il Ferrini da par suo della illuminazione elettrica.

In tutto cotesto campo smisurato, del quale si ebbe la occasione di additare una parte pregevole, se non la maggiore — quella più strettamente connessa a quanto andammo sfiorando — pur troppo non ci è possibile entrare. Deve bastare l'averlo nominato, e solo ci sentiamo autorizzati ad una eccezione; a ricordare almeno, cioè, come pure nella produzione mondiale dei trattati di fisica generale o di fisica tecnica, anche l'Italia abbia conseguito un posto meritevole di considerazione.

Scritti — come quelli del Milani e dell' Ambrosoli — col modesto — nobilissimo — intendimento di far amare la fisica anche a chi deve accontentarsi della superficie delle cose, o — come quelli dello Zambra e dello Zanotti, del Matteucci e del Cantoni, del Ferrini e del Roiti — con l'altro più elevato di guidare lo studioso ai penetrali della scienza, i trattati che abbiamo nominato vogliono essere menzionati tra quelli di fisica generale di cui si onorerebbe la letteratura scientifica di qualunque paese.

Tra i trattatisti nella fisica tecnica, poi, basti ricordare colui che, col Ferraris, si levò sopra gli altri italiani, vogliamo dire Rinaldo Ferrini.

che scendeva anche a - 20° e delle frequenti bufere di nevischio. Furono riprese il 23 giugno 1900 — al ritorno del Cagni da quel glorioso viaggio al nord che dava alla spedizione del Duca degli Abruzzi il primato nella vicinanza al polo raggiunta da spedizioni artiche — e proseguite fino al 3 agosto. Così la scienza potè avere osservazioni di quella località distribuite in diversi giorni e durante due anni consecutivi. I risultati delle osservazioni stesse furono elaborati dal d.r Luigi Palazzo, direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica a Roma, e si trovano con le relazioni del Comandante Cagni e dello stesso prof. Palazzo nell'importante volume: *Osservazioni Scientifiche eseguite durante la Spedizione Polare di* **S. A. R. Luigi Amedeo di Savoia Duca degli Abruzzi**, Milano, Hoepli, 1903.

Scienziato che toccò parti svariatissime della fisica — dall'aberrazione di sfericità delle lenti alla teoria cinetica dei gas; dalla dissipazione delle cariche elettriche negli aeriformi alla temperatura delle fiamme; dal disperdimento delle correnti nelle linee telegrafiche ai fenomeni degli apparecchi del Crookes — padrone dell'analisi matematica, acuto nell'indagare e nel discutere, mente privilegiata nel colpire il senso pratico del fatto naturale o della formola, l'eminente fisico nostro consacrava il periodo più importante della sua operosa vita scientifica alla Fisica Tecnica da lui — con lucidezza di forma pari a quella del pensiero ed alla profondità della dottrina — insegnata per lungo volgere di anni al R. Istituto Tecnico Superiore di Milano. Egli era condotto così a pubblicare — oltre che dei pregevoli Manuali sulla *Galvanoplastica*, sul *Riscaldamento e Ventilazione* e sulla *Telegrafia* — dapprima — 1875 — quella *Tecnologia del Calore*, di cui si facevano ripetute edizioni, di cui si valevano Case estere tra le più importanti per la calcolazione degli apparecchi di scaldamento, e di cui — fatto raro per un'opera tecnica italiana si pubblicavano versioni — dallo Schröter e dall'Archinard — in Germania ed in Francia; poi quel volume *Magnetismo ed Elettricità*, che aveva pure l'onore della traduzione in Germania, e che era seguito dai *Recenti Progressi dell'Elettricità*; opere tutte nelle quali, con gli altri pregi, rifulge la più assoluta modernità del pensiero nell'indirizzo rigorosamente scientifico.

Toccato così della letteratura della fisica, passeremo a concludere.

Nella ristrettezza dei limiti di spazio imposti a questo modesto schizzo cronologico, troppi sacrifici si dovettero fare, e molti lavori anche di uomini insigni, ed insigni essi stessi, furono condannati ad un apparente oblio. Sull'opera di sommi, quali il Poggendorff ed il Weber, il Kelvin e l'Helmholtz, il Biot ed il Gauss, come il Volta ed il Belli, l'Avogadro ed il Mossotti, il Matteucci ed il Felici, avremmo voluto, almeno fin dove era consentito dalla natura di queste pagine, soffermarci di più: lo avremmo voluto in generale anche per i lavori dei fisici moderni e per le applicazioni. Nella impossibilità di farlo, parve preferibile il dedicare — sia detto in senso relativo — qualche maggiore ampiezza ai lavori che nelle diverse branche furono, durante il secolo XIX, le basi, tanto perchè meno facili a trovarsi, quanto perchè — a motivo di ciò — una esposizione condotta per intero su le monografie e su le opere originarie (1), e — nei limiti del concesso — la parola medesima dei grandi maestri, potevano presentare qualche maggiore utilità per il lettore.

Malgrado cotesto — non voluto — squilibrio nella economia delle diverse parti, è lecito lo sperare che il lettore abbia potuto formarsi un'idea del progresso fatto nel secolo XIX dalla scienza. È immenso!

Vi fu chi ad essa guardò pauroso e come a nemica, perchè ne temeva i responsi, nei quali vedeva minaccia a principî considerati — con ragione, ove l'abuso non ne accompagni la manifestazione — come salvaguardia della

(1) Porgo grazie sentite ai cortesi che mi resero comodo l'uso delle Biblioteche nostre. In particolare ho per grato dovere il ricordare con riconoscenza i signori: comm. ing. Giovanni Celoria, Direttore del R. Osservatorio astronomico di Brera; sac. dott. Achille Ratti dell'*Ambrosiana*; Agostino Locatelli, Bibliotecario del *R. Istituto Lombardo di Sc.* e *Lett.*; conte cav. Eugenio De Guarinoni, Bibliotecario del R. Conservatorio G. Verdi, d^r Salveraglio, Bibliotecario della R. Università di Pavia; Paolo Vaccani, Bibliotecario della *Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri*, in Milano.

società civile: e vi fu, all'opposto, chi si volse ad essa volendola stromento atto a togliere la possibilità di continuazione di uno stato rappresentante un passato, considerato — a torto — come avverso ad ogni progresso intellettuale. La scienza si ribellò agli uni ed agli altri, e continuò imperturbata nel cammino trionfale, vera signora del pensiero, potente rinnovatrice del mondo.

Ed all'uomo che la interrogava con avida sincerità, essa rispondeva illuminandone la mente con una luce di bellezza sovrumana. Così, verso il finire del secolo XIX, ad un Grande era concesso lo scrivere: (1) « Poichè Maxwell dimostrò che le vibrazioni luminose possono consistere in periodiche vibrazioni delle forze elettro-magnetiche, e poi che Hertz, provando col fatto che le oscillazioni elettro-magnetiche si propagano come la luce, diede alla teoria del Maxwell una base sperimentale, si andò assodando l'idea che l'ètere luminoso ed il mezzo ove hanno sede le forze elettriche e magnetiche siano una medesima cosa. Perciò a te, o fanciulla colta e gentile, che amabilmente mi domandi che cosa sia l'elettricità, posso rispondere: Essa non è soltanto l'agente pauroso, che rompendo talora la compagine dell'atmosfera ti sgomenta col fragore della folgore, ma è eziandio l'agente vivificatore che tramanda dal sole alla terra colla luce e col calore la magia dei colori e l'alito della vita, quello che partecipa al tuo cuore il palpito del mondo esterno, quello che sa trasmettere all'animo tuo l'incanto di uno sguardo e di un sorriso ».

Nello splendore di questa visione sintetica delle cose nel meccanismo multiforme dalle loro cause seconde, ed, insieme con essa, nella bellezza dei particolari offerti dai fatti, dalla loro indagine, dall'esperienza, dall'acutezza della interpretazione, negli ammaestrimenti dei sommi che la resero possibile, in tutto cotesto, più ancora che nell'utile materiale venuto, sta il premio che la scienza ha dato all' uomo; premio che lo migliora, lo eleva.

Senonchè la storia che siamo andati schizzando offre insieme un altro grande insegnamento.

Col procedere del secolo, fenomeno concomitante al democratizzarsi delle idee, si andò formando una scuola per la quale la scienza pura è oggetto quasi di compatimento; una scuola, per la quale il fisico chiuso nel laboratorio a sperimentare senza che la mente si volga all'applicazione pratica, ed il filosofo, che spazia nel campo astratto delle idee, sono — nell'ingranaggio della evoluzione sociale — due organi superflui, dannosi fors' anche in quanto sottraggono l'attività alla grande opera del progresso diretto — materialmente tangibile, diremmo quasi — nel campo della vita civile.

Ebbene, la storia della fisica — segnatamente durante il secolo XIX — sta tutta a dimostrare come, se la umanità non potrebbe progredire unicamente per opera della scienza pura, essa, senza di questa, sarebbe ben lontana dal punto conseguito.

Fu forse inutile, per cotesto lato, che spendessero ingegno e tempo il Volta nell'indagare se lo svolgimento dell'elettricità — anzichè tra nervi e muscoli di una rana scuoiata — avveniva in umili pezzetti di metallo, e l'Örsted nell'esaminare il deviare di un piccolo ago magnetico per azione

(1) Su l'album di una signorina colta e gentile che aveva pregato Galileo Ferraris di scrivervi la definizione dell'elettricità.

della corrente; il Clausius nel meditare sul come potesse ritenersi costituito teoricamente un gas, ed il Maxwell nel filosofare su la natura della luce?

Fu forse inutile ciò, perchè nè il Volta, nè l'Örsted, nè il Clausius, nè il Maxwell, sognavano le grandi Centrali elettriche, l'energia - a talento dell'uomo — trasformata e guidata ovunque con esili fili, le tenebre della notte fugate da luce sfolgorante, l'occhio scrutante l'interno dell'organismo vivente; o l'avvicinarsi continuo di continenti per perfezione crescente di macchine, la voce umana inviata oltre terre e monti ed acque, il pensiero e la volontà trasmessi al di là dell' oceano mediante il cavo sepolto nell' abisso o per l'etere vibrante nelle regioni dell'atmosfera?

Oh sì! Allo spirito gretto, esiziale della scuola dell'utile immediato, la scienza pura ha, massime dopo il secolo XIX, il diritto di dire: io, io sono la vera anima del progresso; io il principio informatore della evoluzione umana.

E questo comprese la società. Onde, alla voce sicura della scienza rispondeva il consorzio civile col plauso dell'ammirazione e della gratitudine, con la domanda confidente di sempre nuovi strumenti di perfezionamento sociale, di nuova luce all'intelligenza, di nuovi sussidi nei conati intesi a decifrare gli enigmi del mondo fisico che stringono l'uomo da ogni parte.

Così, quanto nei secoli anteriori era stato atto — nè comune, nè frequente — di munificenza di principi illuminati, andò diventando, durante il decimonono, manifestazione spontanea di sentimento universalmente entrato come quello di un dovere nella coscienza di governanti e di popoli. E nell'ultima parte di esso si videro uomini, la cui vita era scorsa nei traffici e nelle industrie, profondere tesori nella fondazione di istituti scientifici e nel dotarli di redditi cospicui e di suppellettile la più preziosa (1).

Con questo ammaestramento su i pregi della scienza pura e su la dannosa fatuità insolente della scuola dell'utile immediato, un altro, nello stesso ordine di considerazioni, dà la storia della fisica nel secolo XIX.

Osservava l'Hertz la trasparenza delle foglie metalliche per i raggi catodici, ed aveva notato il Belli (2) « il dissiparsi più facilmente nell'aria comune

(1) Si è agli Stati Uniti — presso il popolo che, per il carattere utilitario, parrebbe il meno facile agli entusiasmi per la scienza pura — che si ebbero i fatti più cospicui nell'ordine sopraccennato. Spigolando tra i molti esempi, ricordiamo i tre milioni e mezzo di franchi di Giacomo Lick — negoziante di grani — per la fondazione dell'Osservatorio di Mount Hamilton nelle Montagne Rocciose; i diciotto milioni di franchi di Giovanni Hopkins — altro negoziante — per quella di una Università a Baltimora; i molti e molti milioni di Yerkes — negoziante di bestiame — e di Armour — il proprietario del celebre mattatoio — per la Università di Chicago e per altri Istituti scientifici; le diecine di milioni dati per iscopi analoghi dal Carnegie — il proprietario delle celebri acciaierie; — i centocinquanta milioni di franchi destinati dai coniugi Leland Stanford per la Università di Palo Alto in California.

(2) Il fatto, veramente era già stato osservato e sottoposto a misura dal Volta, come scoperse A. Volta *j r.* negli autografi esistenti presso il R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Veggasi la Nota dello stesso prof. A. Volta: *La fiamma nelle scariche elettrostatiche*, in *Rendic.* del medesimo Istituto, a 1903, serie II., Vol. XXXVI, p. 829 a 836.

Si è ricordato il Belli a preferenza del Volta — mentre se vi fosse differenza nel merito, essa sarebbe a favore di questi — perchè, mentre lo studio del Volta rimase ignoto, i lavori del Belli ebbero notorietà, essendo stati pubblicati — oltrechè nella *Biblioteca Italiana* e nei *Commentari* di Brescia — nella *Bibliothèque Univ.* di Ginevra — a. 1836, T. V, e 1838, T. XIII —. Ne parlò tra altri, il Faraday — *Exp. Res.*, serie XIII, febbr. 1838, § 1520 —; ed è nota la polemica accesasi tra il Belli ed il Peltier per gli articoli — in merito alle prime esperienze del fisico italiano — pubblicati dallo scienziato francese nell' *Institut* — 20 luglio 1836 — e negli *Ann. de Ch. et de Phys.* — a. 1836, T. LXII. —

l'elettricità negativa che non la positiva » : dal primo fatto scaturiva la scoperta del Röntgen; acquistava il secondo un significato altissimo mezzo secolo dopo, quando apparivano le teorie novissime, della elettricità.

Cotesto, appunto, quasi ad ogni pagina insegna la storia della fisica nel secolo XIX: la importanza somma della osservazione dei fatti della natura, sia, o non sia, immediato l'interesse che essi possono offrire.

Le teorie escogitate si modificheranno: forse anche non è lontano il giorno, in cui, nel campo della fisica, accadrà quanto il creatore della Meccanica Celeste notava su la storia dell'astronomia (1); e nessuno può dire che avverrà in quel giorno di tante teorie dalle quali è oggi appagato lo spirito.

Ma i fatti osservati nel secolo XIX rimarranno, e, presto o tardi, tutti fruttificheranno.

Con le idee che vi guidarono, con le idee che ne derivarono, sono essi la eredità preziosa che quel secolo tramanda, e che ci permette il godimento del pensare sicura ed incomparabilmente più facile la via a coloro che verranno; sono essi una ragione di più che conforta alla visione di una società maggiormente progredita — e forse, per ciò stesso, migliore — della nostra.

Onore a quanti — sommi od umili — con la devozione alla scienza andarono preparando alla umanità l'inestimabile beneficio!

L'*Osservatorio magnetico* più settentrionale del mondo.
Dall'op. *La* « Stella Polare » *nel Mare Artico*, di
S. A. R. Luigi Amedeo di Savoia Duca degli Abruzzi.
Milano, Hoepli 1902. Per benev. conc. di S. A. R.

Legg. espl. — Rappresenta il *casotto magnetico* fatto erigere dall'augusto Esploratore all'Isola del Principe Rodolfo, alla latitudine Nord di 81°. 47'. 25''. Sulle osservazioni compiutevi, vegg. le relazioni del Comandante Umberto Cagni e del prof. Luigi Palazzo, cit. a pag. 575, nota 4 a.

(1) « Di tutte le scienze naturali, l'astronomia è quella che offre la più lunga concatenazione di scoperte. Vi è una distanza immensa dal primo sguardo rivolto al cielo, alla visione generale con cui si abbracciano oggi gli stati passati e futuri del sistema del mondo. Per giungervi, occorse osservare gli astri durante un gran numero di secoli; riconoscere, nelle loro apparenze i movimenti reali della Terra; elevarsi alle leggi dei moti planetari, e, da coteste leggi, ai principî della gravitazione universale, ridiscendere, infine, da questi principî alla spiegazione completa di tutti i fenomeni celesti, perfino nei loro particolari più minuti. Ecco ciò che lo spirito umano ha fatto nell'astronomia ». Laplace, *Exposition du Système du Monde*. — *Oevr. de Laplace*, T. VI, Introduzione.